

Utredning av en betongkonstruktions hållbarhet vid olycksfall

Emil Sundman

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)
Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik
Vasa 2016



EXAMENSARBETE

Författare: Emil Sundman
Utbildningsprogram och ort: Byggnadsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ/Fördjupning: Konstruktionsteknik
Handledare: Allan Andersson, Yrkeshögskolan Novia
Toni Wasenius, Ramboll Finland Oy
Joon Tuikka, Ramboll Finland Oy

Titel: *Utredning av en betongkonstruktions hållbarhet vid olycksfall*

Datum: 19.4.2016

Sidantal: 25

Abstrakt

Detta examensarbete är utfört åt Ramboll Finland Oy. Syftet med examensarbetet var att göra en utredning om ett planerat, men ännu inte byggt, betongbjälklag i köpcentret Tripla i Helsingfors kommer att klara av en tänkbar olycka. Den tänkbara olyckan som kunde ske är att ett betongelement faller ner på betongbjälklaget från ett bostadsvåningshusbygge ovanför köpcentret. Köpcentret planeras av Ramboll Finland Oy.

Examensarbetet är utfört genom att granska problemet från olika synvinklar. En stötkraft, som orsakas av det fallande betongelementet från en viss höjd, beräknades med hjälp av olika metoder. Utgående från dessa beräkningar gjordes beslut på om den underliggande konstruktionen kommer att klara av stöten. Vidare undersöktes om andra aspekter inverkar på slutresultatet och ifall de behöver beaktas vid beräkningarna. I beräkningarna har man tagit sig stöd av litteratur och använt dimensioneringsprogram.

Slutresultatet av denna undersökning var att stötkraften från det fallande betongelementet blir så stort att den underliggande konstruktionen inte kan ta emot kraften. Åtgärdsförslag för att stora skador ska kunna undvikas finns presenterade i slutet av examensarbetet. Resultatet av detta examensarbete används av Ramboll Finland Oy vid fortsatta utredningar och planering av köpcentret Tripla.

Språk: svenska

Nyckelord: dynamik, stötkraft, betongkonstruktion, olycksfall

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Emil Sundman
Koulutusohjelma ja paikkakunta: Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu
Ohjaajat: Allan Andersson, Yrkeshögskolan Novia
Toni Wasenius, Ramboll Finland Oy
Joonas Tuikka, Ramboll Finland Oy

Nimike: *Betonirakenteen kestävyysden tutkiminen onnettomuuden sattuessa*

Päivämäärä: 19.4.2016

Sivumäärä: 25

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty Ramboll Finland Oy:lle. Työn tarkoituksena oli tutkia kauppakeskus Triplaan suunnitellun, mutta ei vielä rakennetun, betonirakenteen kestävyys mahdollisen onnettomuuden sattuessa. Mahdollinen onnettomuus voisi olla, että betonielementti putoaa alas rakenteen päälle kauppakeskuksen yläpuolelle rakennettävien asuinkerrostalojen rakennusvaiheessa. Kauppakeskus rakennetaan Helsinkiin ja sen suunnittelee Ramboll Finland Oy.

Opinnäytetyö on toteutettu siten, että ongelmaa lähestyttiin eri näkökulmista. Törmäyskuorma, joka aiheutuu tietyltä korkeudelta putoavasta betonielementistä, laskettiin eri tavoilla ja tulosten perusteella tehtiin päätös, mikäli alapuolella oleva rakenne kestää törmäyksen. Myöhemmin työssä tutkittiin, jos muut tekijät vaikuttavat lopputulokseen ja mikäli ne pitää huomioida laskelmissa. Laskelmissa on turvauduttu kirjallisuuteen sekä osittain käytetty laskentaohjelmia.

Lopputuloksena tästä tutkimuksesta saatiin, että putoavasta betonielementistä aiheutuva törmäyskuorma on niin suuri, että alapuolinen rakenne ei pysty vastaanottamaan sitä. Työn lopussa on esitetty toimenpiteitä, joilla voitaisiin ehkäistä suuret vahingot, mikäli mahdollinen onnettomuus tapahtuu. Työn lopputulosta käytetään Ramboll Finland Oy:ssä kauppakeskus Triplaa suunniteltaessa.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: dynamiikka, törmäyskuorma, betonirakenne, onnettomuus

BACHELOR'S THESIS

Author: Emil Sundman
Degree Programme: Building Engineering, Vaasa
Specialization: Structural design
Supervisors: Allan Andersson, Novia UAS
Toni Wasenius, Ramboll Finland Oy
Joonas Tuikka, Ramboll Finland Oy

Title: *Investigation of a concrete structure in case of an accident*

Date: 19.4.2016

Number of pages: 25

Summary

This bachelor's thesis is made for Ramboll Finland Oy. The purpose with the thesis was to investigate if a designed, but not yet built, concrete structure in the mall of Tripla will resist a possible accident. The possible accident, that could happen is that a concrete element falls down on the concrete structure from an apartment building above during the construction work. The mall of Tripla is built in Helsinki and designed by Ramboll Finland Oy.

The bachelor's thesis is performed by looking at the problem from different angles. An impact force, that is caused by the falling concrete element from a certain height, was calculated with different methods and based on these methods a decision was made whether the structure underneath will resist the impact or not. Other aspects were, furthermore, investigated to see if they had an impact on the final result. One has to see if the aspects have to be taken into consideration in the calculations. The calculations are based on literature and partly made by using calculation programs.

The result of this investigation is that the impact force from the falling concrete element is so large that the concrete structure below won't be able to resist the force. Proposals for actions to avoid large damages is listed in the end of the thesis. The result of this bachelor's thesis is used by Ramboll Finland Oy when the mall of Tripla is designed.

Language: swedish

Key words: dynamics, impact force, concrete structure, accident

Innehållsförteckning

1 INLEDNING.....	1
1.1 Beställaren.....	1
1.2 Bakgrund.....	1
1.3 Målsättning	2
1.4 Översikt och metoder.....	2
2 UTGÅNGSPUNKT	3
2.1 Situationen	3
2.2 Var elementet faller.....	4
2.3 Konstruktionstyper.....	4
2.4 Vad som undersöks	6
3 SKADEMEKANISMER	6
3.1 Sprickning.....	6
3.2 Genomstansning.....	6
3.3 Penetration, perforation och utstötning.....	7
3.4 Brott i pelare	7
3.5 Fortsatt ras.....	7
4 BERÄKNING AV LASTER	8
4.1 Beräkning av stötkraften, inbromsningsmetoden	8
4.2 Beräkning av stötkraften, störfaktormetoden.....	12
4.3 Betongelementets maximala tillåtna massa	14
4.4 Inverkan av luftmotstånd	16
4.5 Inverkan av fallhöjd.....	19
5 RESULTAT	20
6 ÅTGÄRDSFÖRSLAG	21
6.1 Dämpande konstruktion.....	21
6.2 Begränsning av elementets vikt vid olika höjder.....	22
6.3 Splitternät i konstruktionen.....	22
7 FORTSATTA STUDIER	23
8 PROBLEMATIK	23
9 SLUTDISKUSSION.....	24
KÄLLFÖRTECKNING.....	25

1 INLEDNING

Detta är ett examensarbete för utbildningsprogrammet byggnadsteknik vid Yrkeshögskolan Novia och omfattar 15 studiepoäng. Ämnet för examensarbetet uppkom i samband med min företagsförlagda utbildning, som jag genomförde vid Ramboll Finland Oy i Esbo.

1.1 Beställaren

Beställaren till detta examensarbete är Ramboll Finland Oy. Ramboll är ett internationellt planerings- och konsultföretag. Globalt har Ramboll över 13 000 anställda inom olika områden. I Finland fungerar Ramboll landsomfattande på flera olika orter med över 2 200 arbetare. Huvudkontoret i Finland ligger i Esbo. Ramboll Finland Oy:s bakgrund går tillbaka till år 1962, då företaget Viatek grundades. Senare hörde Viatek till den svenska Scandiaconsult koncernen och efter en förening med Ramboll år 2003 blev Ramboll Finland en del av den internationella Ramboll-koncernen.

1.2 Bakgrund

Bakgrunden till ämnet, som detta examensarbete handlar om, ligger i min företagsförlagda utbildning. Jag jobbade på ett verkligt projekt, ett köpcentrum, som byggs upp i Helsingfors. Köpcentret byggs intill Böle tågstation och omfattar flera olika delar. Tripla, som köpcentret heter, omfattar parkeringshus, köpcenter, bostadsvåningshus, hotell och mycket mera. Idén om att få göra slutarbete för Ramboll framkom genom diskussioner med olika personer inom organisationen. Det konstaterades att ett ämne inom samma projekt, som jag varit med om skulle vara bra. Tillsammans med projektchefen för Tripla kom vi överens om att examensarbetet skulle omfatta en utredning av planerade betongkonstruktioners hållbarhet vid olycksfall. Eftersom en del av affärsutrymmena kommer att befinna sig under bostadsvåningshusen och tas i användning före höghusbygget sätts igång, beslöt vi oss för att undersökningen skulle handla om affärsutrymmenas konstruktioner. Dessutom måste det finnas en utredning över att just de konstruktionerna har tillräcklig hållbarhet ifall en olycka sker. En tänkbar olycka kunde vara att ett betongelement faller ner i samband med höghusbygget och därför valdes denna olycka som fortsatt undersökning i detta examensarbete.

1.3 Målsättning

Målsättningen med detta examensarbete är att kontrollera om affärsutrymmets övre bjälklag har tillräcklig bärförmåga med avseende på en stötkraft, som orsakas av ett fallande betongelement från bostadsvåningshusbygget ovanför. Ifall resultatet visar att den planerade betongkonstruktionen inte är tillräckligt hållbar blir det aktuellt att framföra åtgärdsförslag till problemet. Möjliga åtgärder, som kan bli aktuella, är mera armering i betongplattan, mera dämpande konstruktioner ovanför, bygg av tillfälligt fallskydd eller begränsning av betongelementens vikt vid olika höjder. Eftersom affärsutrymmena börjar byggas först år 2017 är det i det här skedet ännu väsentligt att veta om några ändringar bör göras i konstruktionerna. Om man kommer fram till att betongelementets vikt bör begränsas vid olika höjder, bör detta beaktas i planeringen av bostadsvåningshusen. Bostadsvåningshusen har byggstart år 2018.

1.4 Översikt och metoder

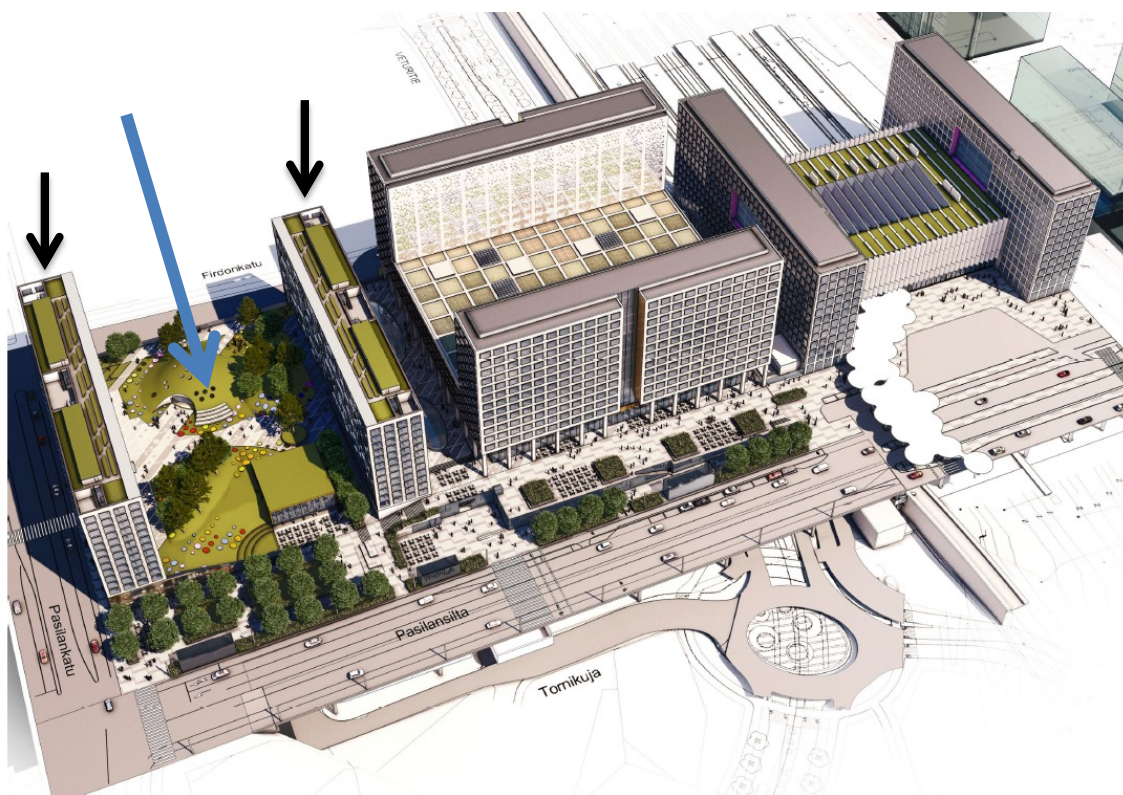
I detta arbete berättar jag först mera detaljerat om situationen, det vill säga beskriver hur byggnaderna är utformade och planerade samt beskriver de konstruktioner som blir aktuella i arbetet. Därefter beskrivs olika skador, som kunde bli aktuella om en olycka av detta slag sker. När utgångspunkten är känd, utförs vissa beräkningar manuellt och vissa med hjälp av dimensioneringsprogram. De manuella beräkningarna stöder sig på litteratur, som tangerar ämnet. Resultaten, som fås på olika sätt, jämförs med varandra och utgående från dem fattas beslut om det finns behov för åtgärdsförslag. Resultatet av examensarbetet används av Ramboll vid planeringen av köpcentret Tripla.

2 UTGÅNGSPUNKT

I detta kapitel förklaras utgångspunkten för situationen. På grund av att Tripla är en stor byggnad, som kommer att befinna sig delvis under jorden, används bilder för att tydliggöra situationen. Kapitlet innehåller även information om hur de berörda konstruktionerna ser ut samt vad som kommer att undersökas.

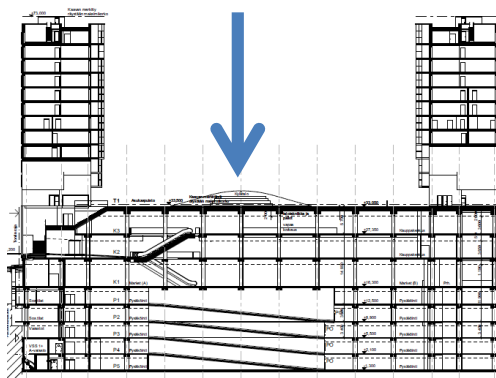
2.1 Situationen

För att åskådliggöra situationen, var betongelementet är tänkt att falla, används figur 1 nedan. På bilden kan man se de delar av köpcentret som befinner sig ovanför markytan. Den blåa pilen, som pekar neråt på gårdsplanen, visar det område som undersökningen handlar om samt var betongelementet är tänkt att falla. Under gårdsplanen finns flera våningar med affärsutrymmen och parkeringshus. På vardera sidan om riskzonen kan man se bostadsvåningshus, som är märkta med små svarta pilar. Det är från någotdera av dessa två bostadsvåningshusbyggen som betongelementet är tänkt att falla ifrån.



Figur 1: Illustrationsbild av köpcentret Tripla. (Ramboll, 2015.)

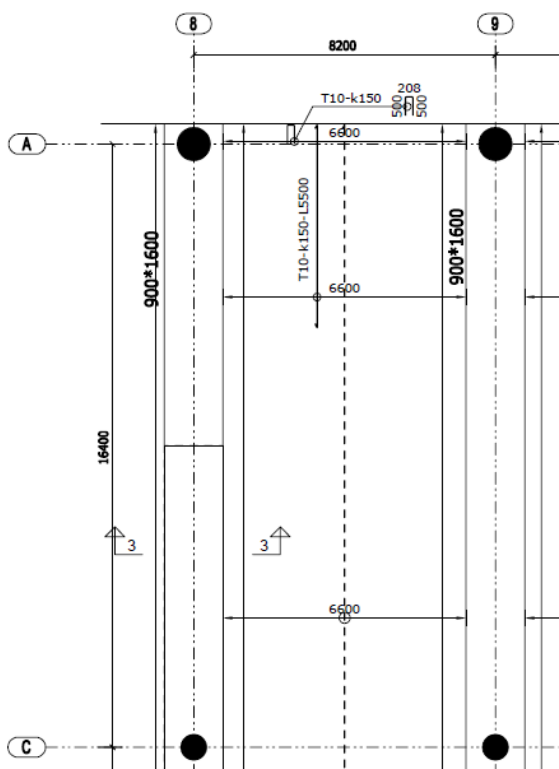
För att visa hur köpcentret ser ut under marken, används figur 2. Pilen, som pekar neråt, visar var betongelementet är tänkt att falla. Under gårdsplanen, finns affärsutrymmena och parkeringshusen. I detta arbete undersöks endast den översta vågräta konstruktionen, som kommer att vara i kontakt med elementet. På vardera sidan kan man se de två bostadsvåningshusen.



Figur 2: Skärningsritning på Tripla.
(Ramboll, 2015.)

2.2 Var elementet faller

I och med att gårdsplanen är stor och ett betongelement kan falla på flera olika platser, valdes ett specifikt område för fortsatta undersökningar. Detta område bestämdes tillsammans med handledarna och projektchefen på Ramboll. Vid valet försökte man se efter ett område med de längsta spännvidderna för att erhålla pålitliga beräkningar med tanke på om elementet skulle falla på någon annan plats på gårdsplanen. Dessutom valdes ett kvadratisk område för att förenkla beräkningarna. Det valda området och dess utformning finns presenterat i figur 3 till höger.

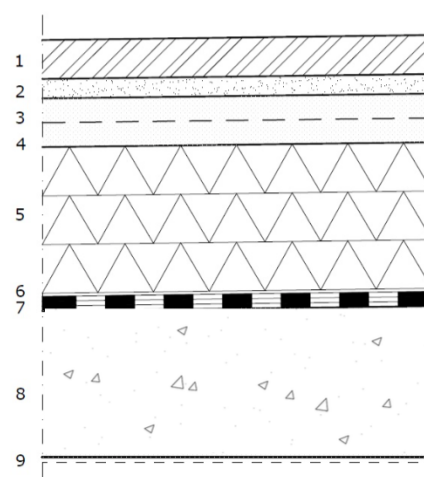


Figur 3: Planritning på området dit elementet är tänkt att falla. (Ramboll, 2015.)

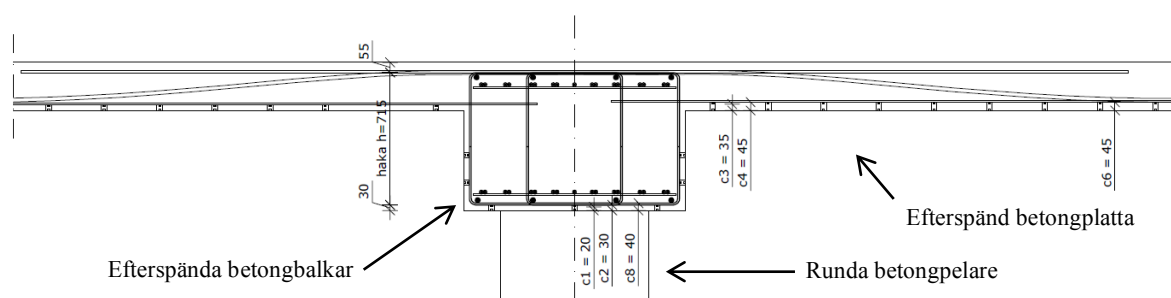
2.3 Konstruktionstyper

Utformningen av betongelementet, som kunde falla ner vid byggnadsskedet, behöver inte beskrivas i detalj, eftersom elementet kommer att förstöras i samband med stöten och skulle därmed inte kunna användas efter olyckan. Vikten på elementet är bestämt till 10 ton d.v.s. 10 000 kg. Ifall undersökningen visar att en minskning av elementets vikt kunde bli aktuell, så modifieras denna massa.

Konstruktionen, som elementet kan falla på är ett omvänt tak och består av flera olika skikt. En skärning av konstruktionens olika skikt finns presenterad i figur 4. Den bärande delen (nr 8 i figur 4) är en kontinuerlig flänsbalk, som består av en 300 mm tjock efterspänd betongplatta och efterspända betongbalkar med bredden 1 600 mm och höjden 900 mm. De efterspända betongbalkarna befinner sig i den längre riktningen. En bild på flänsbalkens utformning finns i figur 5 nedan. Betongkvaliteten är C35/45 och exponeringsklassen XC1. Både plattan och balkarna är armerade och dessutom finns det även spännvagnar i plattans bärande riktning. Lutningen på flänsbalken är 1:80, men eftersom den är så liten kommer den att försummas för att underlätta beräkningarna. Flänsbalken bärs upp av runda betongpelare. Avståndet mellan pelarna i den undersökta platsen är 8,2 m i den kortare riktningen och 16,4 m i den längre.



Figur 4: Konstruktionens olika delar. (Ramboll, 2015.)



Figur 5: Skärning på flänsbalken. (Ramboll, 2015.)

Ovanför den bärande betongplattan finns vattenisolering och ett 4,5 mm tjockt dräneringsskikt (nr 7 och 6 i figur 4). Dessa delar av konstruktionen ökar inte bärligheten och kan därmed försummas. Däremot kan isoleringen (nr 5 i figur 4) ovanför dessa delar ha en viss betydelse i beräkningarna. Detta behandlas närmare i ett senare skede. I byggbeskrivningarna finns definierat att isoleringen är av XPS och har tjockleken 300 mm. I beräkningarna används dock värdet 200 mm, eftersom den bärande plattans lutning bidrar till att tjockleken av isoleringen varierar beroende på var man befinner sig på gårdsplanen. Isoleringens kortvariga tryckhållfasthet är 400 kPa och långvariga 180 kPa. På isoleringen finns ytterligare en filterduk samt en 100 mm tjock armerad betongplatta (nr 4 och 3 i figur 4) i klass C-4-40 och exponeringsklass XC3. Ovanför denna betongplatta finns ytterligare gårdsplanets ytmaterial (nr 1 och 2 i figur 4), men de har inte ännu byggts vid det tänkta olyckstillfället, vilket betyder att det första som ett möjligtvis fallande elementet kommer i kontakt med är den 100 mm tjocka betongplattan.

2.4 Vad som undersöks

Stötkraften, som förorsakas av det fallande betongelementet, kan skada konstruktionen på olika sätt. Beroende av beräkningsmetod, beräknas stötkraften i vissa skeden på två olika ställen. I sådana fall är det ena stället på mitten av det undersökta området d.v.s. mitt på den bärande betongplattan. Det andra stället är mitt emellan betongpelarna, mitt på en av de efterspända balkarna. Orsaken till att stötkraften beräknas på två olika ställen beroende på beräkningsmetod, är att den underliggande konstruktionen förväntas reagera på olika sätt beroende på var elementet faller.

3 SKADEMEKANISMER

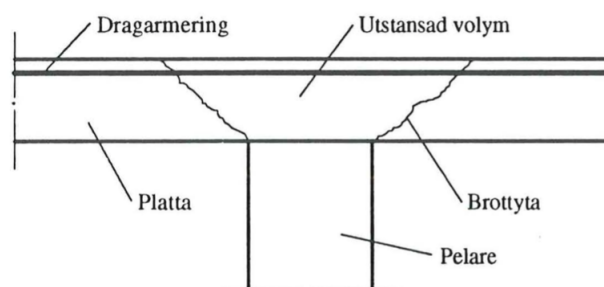
I detta kapitel beskrivs olika skador, som kunde förekomma i den underliggande konstruktionen vid stöten mellan elementet och bjälklaget. Genom att studera de möjliga skadorna, kan man förbereda sig på vad som i verkligheten kunde ske om elementet faller ner. Varje skademekanism förklaras kortfattat.

3.1 Sprickning

Om en betongkonstruktion utsätts för stora dragande eller böjande krafter kommer dragna delar av konstruktionen att spricka. I sådana fall överskrids betongens draghållfasthet och därmed uppstår lokala sprickor. Sprickornas storlek kan variera och påverka konstruktionens hållbarhet.

3.2 Genomstansning

Genomstansning är ett lokalt brott, som kan förekomma av koncentrerade laster, t.ex. upplagskrafter från pelare. Vid brott av detta slag stansas en konformad del av betongplattan ut. Hur stor del som stansas ut är beroende på lastens utbredning, eftersom brottet sker runt omkring det belastade området. (Kölfors, 1993, s. 2.)



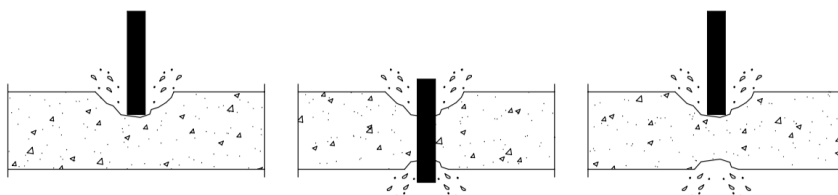
Figur 6: Genomstansningsbrott i platta upplagd på pelare. (Kölfors, 1993.)

3.3 Penetration, perforation och utstötning

Penetration är en skada, som kan förekomma då en kropp eller ett föremål kolliderar med en betongkonstruktion. Vid kollisionen krossas betongkonstruktionens yta och en krater uppstår. Eftersom betongen krossas till en del betyder det att konstruktionens effektiva höjd minskar och därmed minskar även bärförmågan. Om tillräckligt mycket betong slits loss från konstruktionens yta kan det leda till att utstötning sker. (Ekengren, Johansson, Leppänen & Laine, 2005, s. 77–78.)

Perforation innebär att det kolliderande föremålet gör ett hål i konstruktionen, som den tar kontakt med. Detta är en lokal skada och verkar därmed endast i det stället där stöten sker.

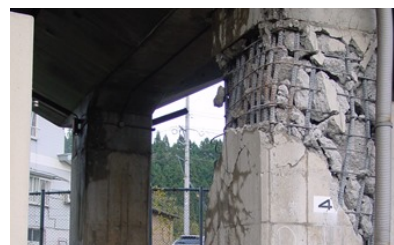
Utsötning innebär att betongen slits loss från en belastad konstruktions baksida. Orsaken till utstötningen är att en tryckvåg, orsakad av t.ex. det fallande elementet, färdas genom konstruktionen och bildar istället en dragvåg. Om dragvågen är tillräckligt kraftig överskrider betongens draghållfasthet och därmed lossnar det bitar från konstruktionens baksida. (Johansson, Ekengren, Laine & Leppänen, 2012, s. 38.)



Figur 7: Penetration, perforation och utstötning av en betongplatta.

3.4 Brott i pelare

Om en betongpelare utsätts för en för stor normalkraft jämfört med pelarens tvärsnittsarea, kommer betongen att krossas och armeringen att uppnå sträckgränsen. När dessa två saker sker kan pelarna skadas och därmed minskar dess hållbarhet. (The Constructor, u.å..)



Figur 8: Brott i pelare
(The Constructor, u.å..)

3.5 Fortsatt ras

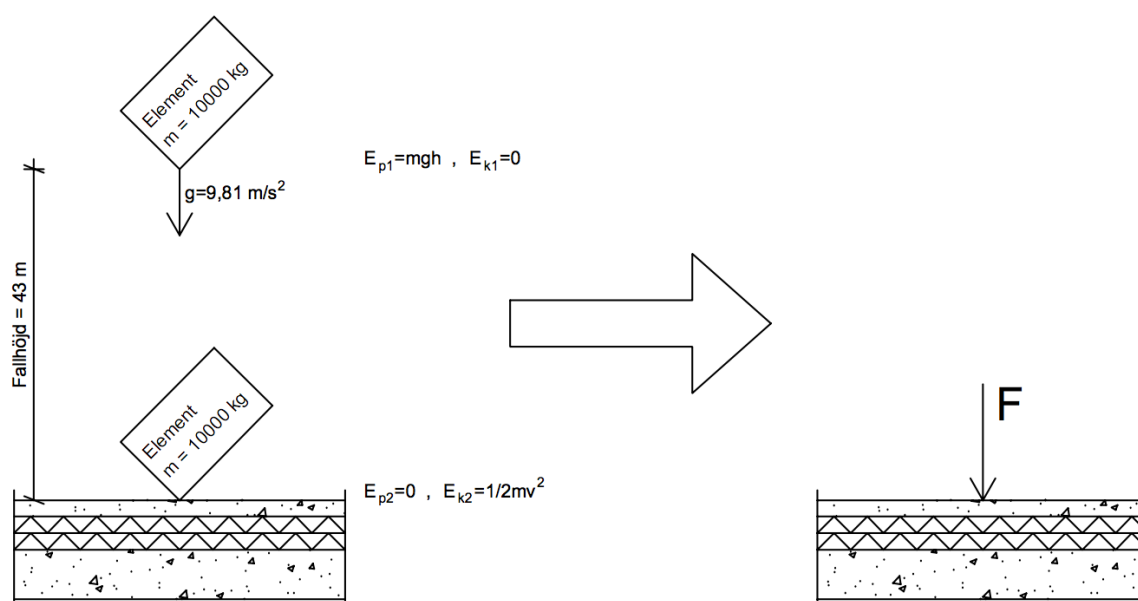
Om det översta bjälklaget kollapsar finns det risk för att den sönderslitna konstruktionen tillsammans med elementet drar ner även följande underliggande bjälklag. Fortskridande ras kan förhindras med sega anslutningar mellan konstruktionsdelar.

4 BERÄKNING AV LASTER

I detta kapitel beräknas stötkraften, som orsakas av det fallande betongelementet, med två olika metoder. Dessutom beräknas en maximal tillåten massa, som elementet skulle få ha utan att den underliggande konstruktionen kollapsar. Beräkningarna är utförda manuellt och i samband med beräkningarna finns teori, som grundar sig på litteratur. Litteraturen hjälper att komma vidare med beräkningarna samt hjälper att förstå varför beräkningarna utförts så som de gjorts. Beräkningsprinciperna och dylikt är beskrivna i varje punkt skilt för sig.

4.1 Beräkning av stötkraften, inbromsningsmetoden

För att bättre förstå utgångspunkten samt för att kunna beräkna stötkraften (F), som orsakas av det fallande betongelementet, används figur 9 nedan. Figur 9 är en förenklad bild av situationen med de utgångsvärden som behövs. För att få fram det värsta möjliga scenariot och därmed ha beräkningarna på den säkra sidan är det tänkt att elementet faller på ett av sina hörn. Då fås en liten kontaktyta med den underliggande konstruktionen, vilket bidrar till större spänningar i betongplattan. Fallhöjden 43 meter har bestämts tillsammans med handledarna från Ramboll och i enlighet med de ritningar som finns av de två bostadsvåningshusen.



Figur 9: Förenklad bild av situationen med det fallande elementet.

Betongelementet startar från vila, vilket innebär att endast lägesenergi påverkar den. Rörelseenergin är lika med noll, eftersom elementet inte har någon hastighet i början. När elementet faller ner och tar kontakt med underliggande konstruktion omvandlas lägesenergin till rörelseenergi. Detta innebär att strax innan kontakten är situationen tvärtom d.v.s. lägesenergin är lika med noll medan en rörelseenergi påverkar elementet. Med hjälp av energiprincipen kan man räkna ut vilken hastighet elementet har strax innan kontakten med den underliggande konstruktionen. (LivePhysics, u.å..) Formlerna för de olika energierna finns presenterade i figur 9 ovan.

Lägesenergi = Rörelseenergi

$$E_{p1} + E_{p2} = E_{k1} + E_{k2}$$

\uparrow \uparrow
 0 0

$$m * g * h = \frac{1}{2} * m * v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{m * g * h}{\frac{1}{2} * m}} = \sqrt{2 * g * h} = \sqrt{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 43 \text{ m}} = 29,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Det totala arbetet (W) som utförs på elementet anges av förändringen i dess rörelseenergi (LivePhysics, u.å..).

$$W = E_{k2} - E_{k1}$$

\uparrow
 0

$$W = \frac{1}{2} * m * v^2 = \frac{1}{2} * 10\,000 \text{ kg} * \left(29,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 4219,5 \text{ kJ} = 4,22 \text{ MJ}$$

Stötkraften (F) fås då man känner till det totala arbetet (W) som utförs på elementet samt sträckan (d) som elementets mittpunkt färdas lodrätt under stöten (LivePhysics, u.å..).

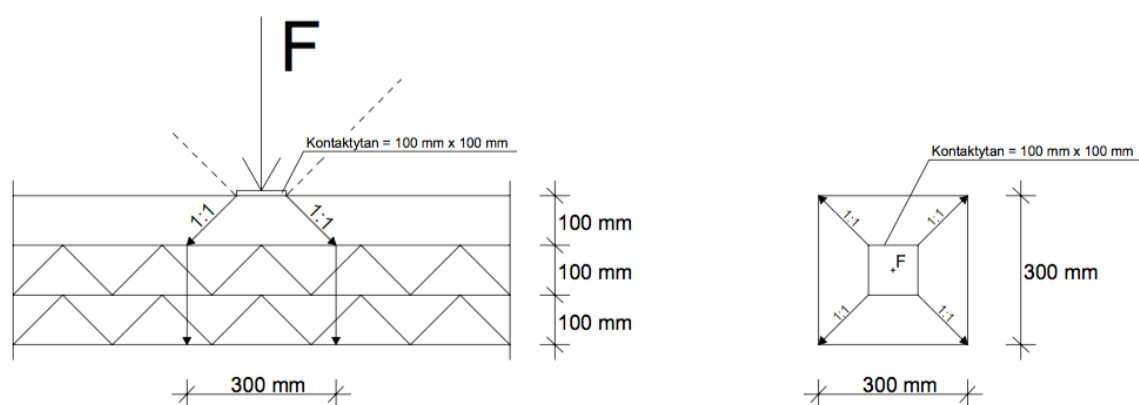
$$F = \frac{W}{d} = \frac{\frac{1}{2} * m * v^2}{d}$$

\uparrow
 För att få fram denna sträcka krävs en undersökning av den underliggande konstruktionen

Sträckan (d), som behövs för att kunna fortsätta med beräkningen, är den sträcka som elementets mittpunkt färdas lodrätt då elementets hastighet minskar från 29,05 m/s till 0 m/s. Det är alltså en inbromsningssträcka som påverkas av de underliggande materialens beteende under stöten. Största möjliga stötkraft fås om d är lika med noll d.v.s. ingenting av elementet eller de underliggande materialen ger efter eller dämpar stöten.

Tillsammans med handledarna på Ramboll bestämdes att elementets hörn går sönder 100 mm i lodrät riktning. Detta innebär att en del av sträckan d består av det måttet. Detta är ett antagande som görs eftersom elementet antagligen förstörs till en viss del vid kontakten.

Isoleringen, som ligger mellan den bärande flänsbalken och den 100 mm tjocka betongplattan, kommer att tryckas ihop till en viss del. Enligt tidigare konstaterades att isoleringen har en kortvarig tryckhållfasthet på 400 kPa. Detta betyder att man kan belasta den med 40 ton/m² innan den börjar tryckas ihop. För att få reda på hur stor yta stötkraften kommer att påverka gjordes ett antagande med handledarna på Ramboll om att kontaktytan mellan betongelementet och den 100 mm tjocka betongplattan skulle vara 100 mm x 100 mm d.v.s. 0,01 m². Betongplattan sprider kraften åt sidorna med en lutning på 1:1 och då blir kontaktytan med isoleringen större. Isoleringen i sin tur sprider inte på kraften, utan där förs krafterna rakt neråt. Hur kraften sprids via betongplattan in i isoleringen finns presenterad i figur 10 nedan.



Figur 10: Kraftens spridning i konstruktionen. Till vänster en skärning, till höger sett uppifrån.

Ur figur 10 fås att ytan som kraften påverkar isoleringen med är 300 mm x 300 mm d.v.s. 0,09 m². Enligt tidigare konstaterades att isoleringen håller 40 ton/m² och nu kan man beräkna hur mycket isoleringen i detta fall håller före tryckhållfastheten överskrids.

Likformighet ger

$$x \text{ ton} * 1 \text{ m}^2 = 40 \text{ ton} * 0,09 \text{ m}^2$$

$$x = \frac{40 \text{ ton} * 0,09 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 3,6 \text{ ton} = 35,3 \text{ kN}$$

Resultatet som fåtts betyder att om stötkraften blir större än 35,3 kN, så kommer isoleringens tryckhållfasthet att överskridas och därmed tryckas ihop. Om elementet, som alltså väger 10 ton, bara skulle placeras och stå på konstruktionen, så skulle den orsaka en punktlast på 98,1 kN. I och med att elementet faller från 43 meter kommer denna kraft att vara ännu större d.v.s. isoleringen kommer att tryckas ihop i detta fall.

Hur mycket isoleringen trycks ihop är en svår fråga att besvara. Enligt Jehimoff (personlig kommunikation, 27.1.2016) orsakar betongelementet stor skada i isoleringen och därmed bidrar inte isoleringens materialegenskaper betydligt på slutresultatet. För att få riktgivande storlek på stötkraften beräknas den i flera möjliga scenarion och därefter beräknas ett medeltal av de mest sannolika situationerna. Enligt tidigare konstaterat fås största möjliga stötkraft om sträckan d väljs så liten som möjligt. Här väljs måttet d till 100 mm d.v.s. man räknar med att endast elementets hörn spricker, men själva konstruktionen hålls odeformerad. För att få minsta möjliga stötkraft görs ett grovt antagande att både elementets hörn och all isolering trycks ihop. Dessutom uppskattas att konstruktionens nedböjning blir 20 mm. Detta betyder att sträckan d skulle bli totalt 100 mm + 200 mm + 20 mm = 320 mm. Stötkrafterna kan nu beräknas vid olika d mått med hjälp av formeln för stötkraft enligt tidigare. Resultaten har fåtts fram med hjälp av Excel och finns presenterade i figur 11 till höger. Då ett medeltal beräknas av de mittersta krafterna d.v.s. de mest sannolika situationerna, fås en slutlig stötkraft av storleken 21,8 MN.

Inbromsningssträcka	Stötkraft
100 mm	42,2 MN
110 mm	38,3 MN
120 mm	35,2 MN
130 mm	32,4 MN
140 mm	30,1 MN
150 mm	28,1 MN
160 mm	26,4 MN
170 mm	24,8 MN
180 mm	23,4 MN
190 mm	22,2 MN
200 mm	21,1 MN
210 mm	20,1 MN
220 mm	19,2 MN
230 mm	18,3 MN
240 mm	17,6 MN
250 mm	16,9 MN
260 mm	16,2 MN
270 mm	15,6 MN
280 mm	15,1 MN
290 mm	14,5 MN
300 mm	14,1 MN
310 mm	13,6 MN
320 mm	13,2 MN

Medeltal av de mest sannolika krafterna ($d=170\text{mm}...220\text{mm}$): 21,8 MN

Figur 11: Stötkrafter vid olika situationer.

Som slutresultat kan konstateras att en riktgivande stötkraft erhålls. Detta metodval för framtagning av stötkraft kunde lämpa sig bättre för situationer då krafterna blir mycket mindre. I situationer där krafterna blir stora och det inte finns pålitlig information om de olika materialens beteende måste man göra grova antaganden. Detta bidrar till att riktgivande resultat erhålls och osäkerhetsfaktorerna ökar.

4.2 Beräkning av stötkraften, störfaktormetoden

Enligt tidigare konstaterat beräknas stötkraften i detta arbete med två olika metoder. Med den första metoden erhöles endast riktgivande resultat, men med den andra metoden kan stötkraften beräknas mer exakt. Beräkningsprincipen i denna metod grundar sig på Akins metod att använda sig av en sorts statisk analys istället för en dynamisk analys.

För att kunna beräkna stötkraften med denna metod är det nödvändigt att beräkna en störfaktor (n). Störfaktorn fungerar som en uppförstoringsfaktor och tillsammans med betongelementets vikt bildar den stötkraften. Störfaktorn fås med formeln nedan.

$$n = 1 + \sqrt{\frac{2 \cdot h \cdot \eta}{\delta_{static}}}$$

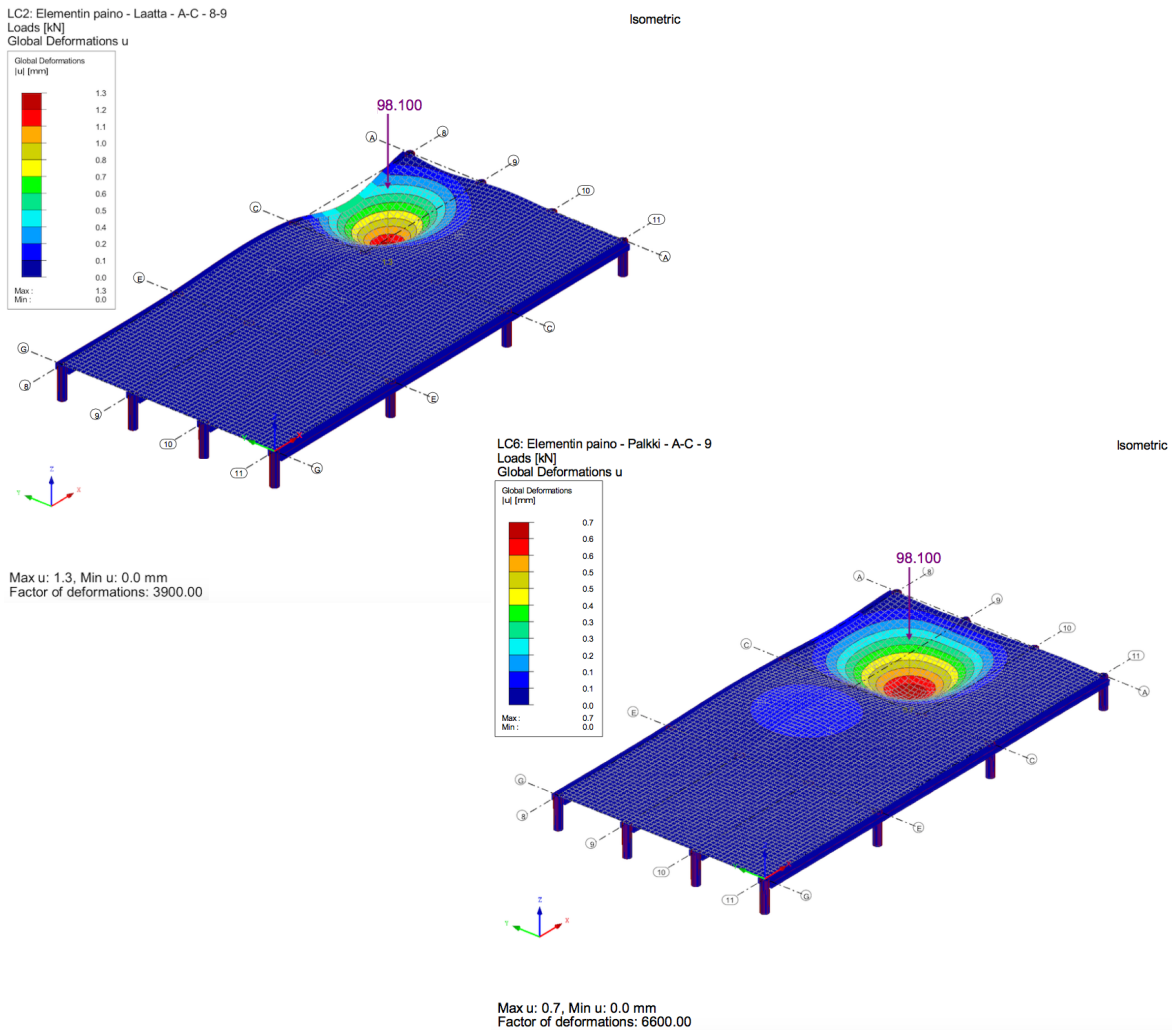
där, h = fallhöjden = 43 m

η = faktor som beaktar kollisionens effektivitet

δ_{static} = flänsbalkens nedböjning p.g.a. elementets statiska last (10 000 kg)

Storleken på faktorn η anger andelen av rörelseenergin hos betongelementet som omvandlas till deformationsenergi hos underliggande konstruktion. Om kollisionen antas 100 % effektiv är faktorn $\eta = 1,0$. Enligt Akin är värdet på denna faktor i praktiken sällan under 0,95 och därför väljs detta för fortsatta studier.

Flänsbalkens nedböjning p.g.a. elementets statiska last beräknas lättast med hjälp av dimensioneringsprogram. Tidigare konstaterades att den underliggande konstruktionen reagerar på olika sätt beroende på var elementet faller och att två olika ställen studeras. Här beräknas därför konstruktionens nedböjning på de två tidigare konstaterade ställen med hjälp av handledarna på Ramboll. Som dimensioneringsprogram i denna metod användes Dlubal RFEM 5.05, som grundar sig FEM-beräkningsmetoden. I beräkningarna har man antagit att konstruktionen är osprucken d.v.s. resultaten är på säker sida. Resultatet finns presenterat i figur 12 på följande sida.



Figur 12: Nedböjning p.g.a. elementets statiska last. Till vänster mitt på plattan, till höger på balk.

Ur figur 12 kan konstateras att största nedböjningen fås under punktlasten, som illustrerar elementets statiska last. Då det är tänkt att elementet faller i mitten på plattan fås en nedböjning på 1,3mm. Om elementet däremot faller på en av de efterspända betongbalkarna fås en mindre nedböjning på 0,7mm.

När alla värden, i formeln för att kunna beräkna stötfaktorn, är kända kan de insättas och därefter erhålls ett resultat. Stötfaktorn då elementet faller i mitten på plattan blir

$$n = 1 + \sqrt{\frac{2 \cdot h \cdot \eta}{\delta_{static}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 43 \text{ m} \cdot 0,95}{0,0013 \text{ m}}} = 251,69$$

Om elementet faller på en av de efterspända balkarna fås en stötfaktor på

$$n = 1 + \sqrt{\frac{2 \cdot h \cdot \eta}{\delta_{static}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 43 \text{ m} \cdot 0,95}{0,0007 \text{ m}}} = 342,64$$

För att beräkna stötkrafterna uppförstoras elementets massa med de erhållna stötfaktorerna. I mitten på plattan blir stötkraften

$$F = n * m = 251,69 * 98,1 \text{ kN} = 24\,691 \text{ kN} = 24,7 \text{ MN}$$

På en av de efterspända balkarna blir stötkraften

$$F = n * m = 342,64 * 98,1 \text{ kN} = 33\,613 \text{ kN} = 33,6 \text{ MN}$$

En jämförelse mellan stötkrafterna, som beräknats på de två olika ställena, visar att den underliggande konstruktionens kapacitet att ge efter har en inverkan på stötkraftens storlek. Ju mer konstruktionen ger efter, desto mindre blir stötkraften. I denna metod har man inte beaktat att elementet skulle förstöras i samband med stöten. Krafterna blev dock väldigt stora och genom att beakta elementets förstöring skulle man ändå inte komma fram till rimliga resultat.

4.3 Betongelementets maximala tillåtna massa

För att närma sig problemet ur en annan synvinkel kan man beräkna en maximal tillåten massa som det fallande elementet får ha för att inte den underliggande konstruktionen ska kollapsa. Om resultatet visar att den maximala tillåtna massan är mindre än den planerade massan, 10 000 kg, kan det konstateras att den underliggande konstruktionen inte kommer att klara av stöten. Denna beräkningsmetod baserar sig på SFS-EN 1991-1-7+AC punkt C.2.2 Soft Impact.

Då konstruktionen antas absorbera energin vid stöten med hjälp av en plastisk deformation kan ekvationen C.5 i eurokodens bilaga C användas.

$$\frac{1}{2} * m * v_r^2 \leq F_0 * y_0 \quad (\text{C.5})$$

där, m = betongelementets massa [kg]

v_r = betongelementets hastighet strax innan stöten [m/s]

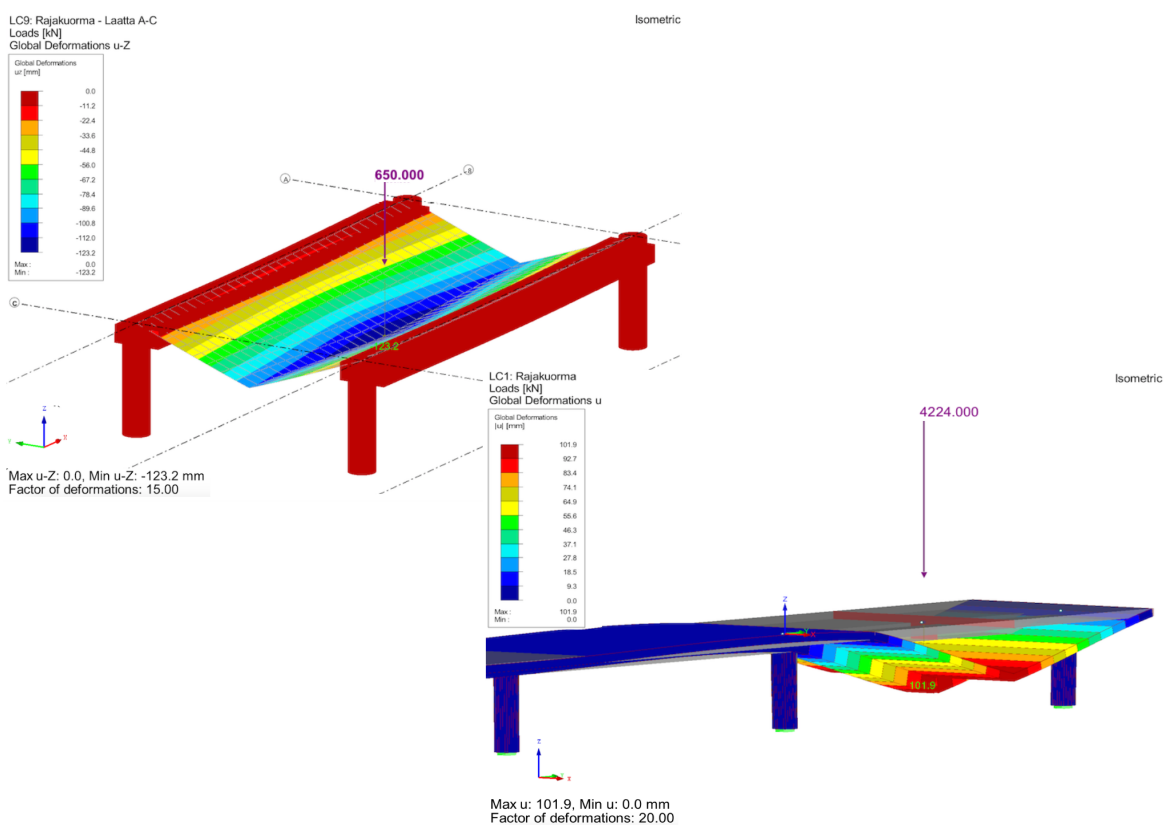
F_0 = underliggande konstruktionens plastiska bärförmåga [kN]

y_0 = underliggande konstruktionens plastiska deformationsförmåga d.v.s.
maximal plastisk nedböjning där stöten sker [mm]

För att kunna beräkna den maximala tillåtna massan hos elementet, sätts faktorn för massan i formeln obekant. Formeln C.5 löses med avseende på massan och därmed fås

$$m_{max} \leq \frac{F_0 * y_0}{\frac{1}{2} * v_r^2}$$

Elementets hastighet strax innan stöten är beräknad tidigare. De obekanta faktorerna i formeln är konstruktionens plastiska bärförmåga och den maximala plastiska nedböjningen. Likadant som tidigare, då stötkraften beräknades med stötfaktormetoden, studeras här även två fall d.v.s. att elementet faller i mitten på plattan samt i mitten på en av de efterspända balkarna. Tillsammans med handledarna på Ramboll beräknades värden för F_0 och y_0 med hjälp av beräkningsprogram. Även i detta fall användes programmet Dlubal RFEM 5.05. I beräkningarna har man tillämpat brottninjeteorin. Resultatet finns presenterat i figur 13 nedan.



Figur 13: Plastisk bärförmåga och motsvarande nedböjning. Till vänster mitt på plattan, till höger på balk.

Ur figur 13 kan konstateras att om elementet faller i mitten på plattan fås en bärförmåga, med hänsyn till en punktlast, på 650 kN och en motsvarande maximal nedböjning på 123,2 mm. Om elementet däremot faller på en av de efterspända betongbalkarna fås en bärförmåga på 4224 kN och en motsvarande maximal nedböjning på 101,9 mm.

Efter insättning av värden i formeln, som beaktar maximal tillåten massa för elementet, fås för fallet då elementet faller i mitten på plattan

$$m_{max} \leq \frac{650 \text{ kN} * 123,2 \text{ mm}}{\frac{1}{2} * (29,05 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 190 \text{ kg}$$

Om elementet faller på en av de efterspända betongbalkarna får elementets maximala tillåtna massa vara högst

$$m_{max} \leq \frac{4224 \text{ kN} * 101,9 \text{ mm}}{\frac{1}{2} * (29,05 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 1020 \text{ kg}$$

Resultatet från de två undersökta ställena visar att den underliggande konstruktionen inte kommer att klara av stöten från det fallande betongelementet. De båda uträknade maximala tillåtna massorna ligger långt ifrån den massa som elementet är tänkt att ha d.v.s. 10 000 kg. I denna metod har man inte beaktat att elementets hörn skulle förstöras och därmed dämpa stöten till viss grad.

4.4 Inverkan av luftmotstånd

I de olika metoderna för att beräkna stöt kraften och den maximala tillåtna massan, som elementet får ha, har inte luftmotstånd beaktats. För intressets skull beräknas stöt kraften och den maximala tillåtna massan hos elementet i ett sådant fall och därefter jämförs resultaten med de tidigare beräknade värdena. Efter dessa beräkningar fås en uppfattning om hur mycket luftmotståndet påverkar stöten. Beräkningarna utförs med Excel och med samma utgångsvärden, som använts tidigare. Resultaten presenteras med hjälp av diagram för att lättare åskådliggöra resultat vid olika situationer.

Luftmotståndet inverkar på elementets hastighet strax innan stöten och därför kan inte denna inverkan beaktas i stötfaktormetoden, utan enbart i inbromsningsmetoden och vid beräkning av den maximala tillåtna massan på elementet. Här utgår man ifrån att luftmotståndet bromsar elementets hastighet med 1-15 %. Ett värde på luftmotståndets storlek är svårt att bestämma, eftersom det beror på i vilken ställning elementet faller ner. I beräkningarna antas att hastigheten minskar med 10 %, men i resultatet finns presenterat värden mellan 1 och 15 %.

För att kunna beräkna stöt kraften med inbromsningsmetoden används samma formel som tidigare, men i stället för det totala arbetet 4,22 MJ används ett reducerat värde, som är beroende på en minskad hastighet orsakad av luftmotståndet. Som inbromsningssträcka väljs 200 mm, vilket ger ett resultat som kan jämföras med tidigare beräkningar.

$$F = \frac{W_{red}}{d} = \frac{\frac{1}{2} * m * v_{red}^2}{d}$$

Den minskade hastigheten fås med formeln enligt kapitel 4.1 kombinerat med en faktor som beaktar 10% luftmotstånd.

$$v_{red} = l_{faktor} * \sqrt{2 * g * h} = (1 - 0,10) * \sqrt{2 * 9,81 m/s^2 * 43m} = 26,14 \frac{m}{s}$$

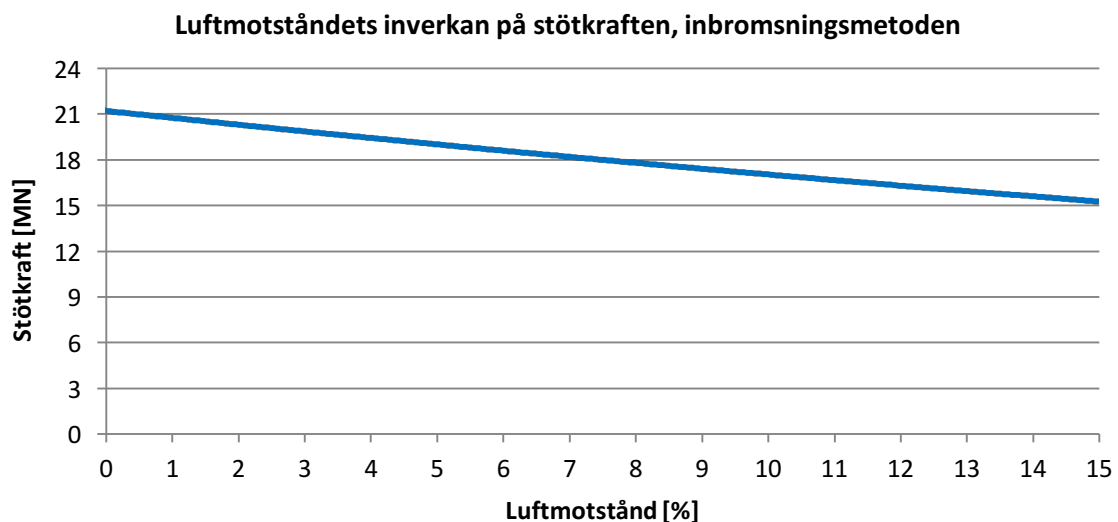
Därmed fås ett reducerat värde för det totala arbetet

$$W_{red} = \frac{1}{2} * m * v_{red}^2 = \frac{1}{2} * 10\,000\,kg * \left(26,14 \frac{m}{s}\right)^2 = 3417\,kJ = 3,4\,MJ$$

Stöt kraften, med 10 % luftmotstånd och en inbromsningssträcka på 200 mm, blir då

$$F = \frac{W_{red}}{d} = \frac{3,4\,MJ}{0,2\,m} = 17,1\,MN$$

I figur 14 nedan är stöt kraften beräknad på samma sätt vid olika stora luftmotstånd. Ur figuren kan konstateras att även om luftmotståndet skulle vara 15 %, vilket är ett antagande på säkra sidan, så skulle stöt kraften bli väldigt stor med tanke på den underliggande konstruktionens bärförmåga. En jämförelse med resultatet utan luftmotstånd d.v.s. 21,8 MN, berättar att stöt kraften inte minskar tillräckligt mycket om luftmotstånd beaktas.



Figur 14: Luftmotståndets inverkan på stöt kraften, inbromsningsmetoden.

Om samma 10 % minskning i elementets hastighet antas i beräkning av elementets maximala tillåtna massa, så kan formeln i kapitel 4.3 användas med skillnaden att i stället för hastigheten 29,05 m/s används den reducerade hastigheten 26,14 m/s som beräknats på föregående sida.

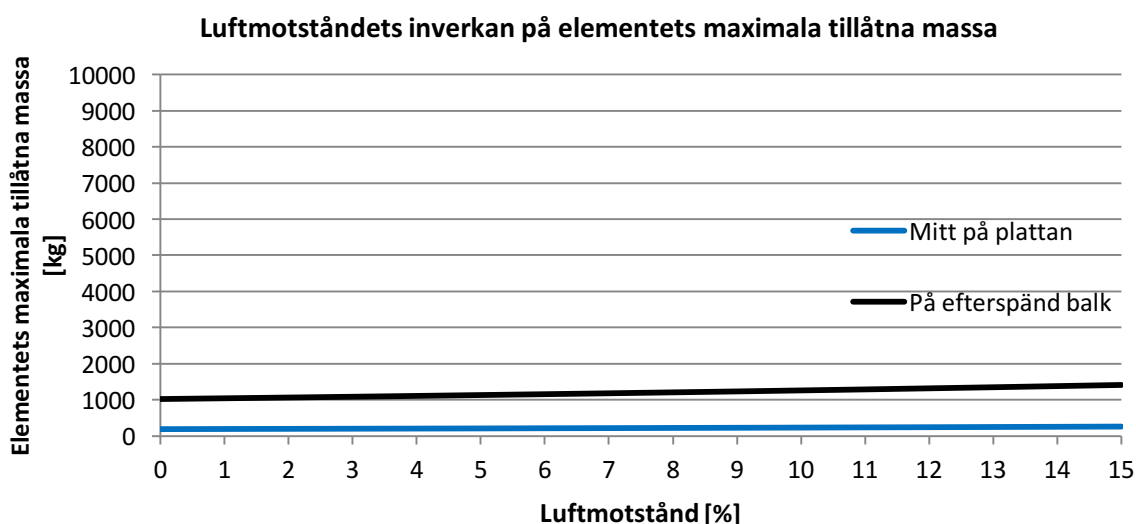
Efter insättning av samma värden enligt tidigare fås att om elementet faller i mitten på plattan, så får elementet väga högst

$$m_{max} \leq \frac{650 \text{ kN} * 123,2 \text{ mm}}{\frac{1}{2} * (26,14 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 234 \text{ kg}$$

Om elementet faller på en av de efterspända balkarna får den maximala tillåtna massan vara högst

$$m_{max} \leq \frac{4224 \text{ kN} * 101,9 \text{ mm}}{\frac{1}{2} * (26,14 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 1260 \text{ kg}$$

För att åskådliggöra inverkan av olika stora luftmotstånd på elementets maximala tillåtna massa kan figur 15 nedan användas. I figuren finns presenterat både fallet då elementet faller i mitten på plattan eller på en av de efterspända balkarna. Luftmotståndet begränsas även här till att inverka mellan 1 och 15% beroende på i vilken ställning elementet faller ner.



Figur 15: Luftmotståndets inverkan på elementets maximala tillåtna massa.

Ur figuren kan konstateras att oberoende var elementet faller eller hur stort luftmotståndet är, så är den maximala tillåtna massan för liten, jämfört med planerad massa, för att den underliggande konstruktionen ska kunna ta emot stöten som orsakas.

4.5 Inverkan av fallhöjd

Hittills har enbart det värsta möjliga fallet studerats d.v.s. om betongelementet faller ner från 43 meter. Fallhöjden har dock en betydelse på resultatet för stötkraft och maximal tillåten massa hos elementet. Här behandlas inverkan av fallhöjden med hjälp av beräknade värden, som fåtts med Excel. Beräkningarna är gjorda på samma sätt som tidigare i detta arbete, men till den skillnaden att fallhöjden har varierats. Resultaten presenteras i form av tabeller för vart och ett scenario och de beaktar inte luftmotståndets inverkan.

I tabell 1 nedan presenteras resultatet på stötkraften då inbromsningsmetoden används. Ur figuren kan konstateras att om elementet faller ner från lägre höjder, minskar stötkraften mycket. Resultaten är mycket riktgivande, eftersom inbromsningssträckan är bestämd att vara 200 mm vid alla fallhöjder. I verkligheten skulle inte elementets hörn spricka lika mycket vid fall från lägre höjder som vid fall från högre höjder. Liksom tidigare kan det konstateras att denna metod baserar sig på mycket antaganden och lämpar sig därför inte lika bra för bestämning av stötkraft som stötfaktormetoden.

Tabell 1: Beräknade stötkrafter från olika fallhöjder med inbromsningsmetoden.

Fallhöjd	Stötkraft, inbromsningsmetoden
43 m	21,1 MN
40 m	19,6 MN
35 m	17,2 MN
30 m	14,7 MN
25 m	12,3 MN
20 m	9,8 MN
15 m	7,4 MN
10 m	4,9 MN
5 m	2,5 MN

Tabell 2 på följande sida visar resultaten för stötkrafter vid olika fallhöjder beräknade med stötfaktormetoden. Liksom tidigare har stötkrafterna med denna metod beräknats på två olika ställen beroende på var elementet faller. Ur figuren kan konstateras att jämfört med inbromsningsmetoden, blir stötkrafterna på lägre höjder med stötfaktormetoden betydligt större. Stötkrafterna blir dock väldigt stora med tanke på underliggande konstruktionens bärförmåga. Stötfaktormetoden baserar sig inte på lika stora antaganden som inbromsningsmetoden och därför är resultaten i tabell 2 mer pålitliga.

Tabell 2: Beräknade stötkrafter från olika fallhöjder med stötfaktormetoden

Fallhöjd	Stötkraft, stötfaktormetoden (mitt på plattan)	Stötkraft, stötfaktormetoden (på efterspänd balk)
43 m	24,7 MN	33,6 MN
40 m	23,8 MN	32,4 MN
35 m	22,3 MN	30,3 MN
30 m	20,6 MN	28,1 MN
25 m	18,9 MN	25,7 MN
20 m	16,9 MN	23,0 MN
15 m	14,6 MN	19,9 MN
10 m	12,0 MN	16,3 MN
5 m	8,5 MN	11,5 MN

Resultatet från den tredje synvinkeln, att beräkna den maximala tillåtna massan på elementet för att underliggande konstruktionen inte ska kollapsa, finns presenterat i tabell 3 nedan. Även här är två olika ställen undersökta. Ur resultaten kan konstateras att oberoende från vilken höjd eller var elementet faller kommer den underliggande konstruktionen inte att klara av stöten, eftersom den tillåtna massan är mindre än 10 000 kg.

Tabell 3: Beräknade maximala tillåtna massor på elementet från olika fallhöjder.

Fallhöjd	Elementets maximala massa (mitt på plattan)	Elementets maximala massa (på efterspänd balk)
43 m	190 kg	1020 kg
40 m	204 kg	1097 kg
35 m	233 kg	1254 kg
30 m	272 kg	1463 kg
25 m	327 kg	1755 kg
20 m	408 kg	2194 kg
15 m	544 kg	2925 kg
10 m	816 kg	4388 kg
5 m	1633 kg	8775 kg

5 RESULTAT

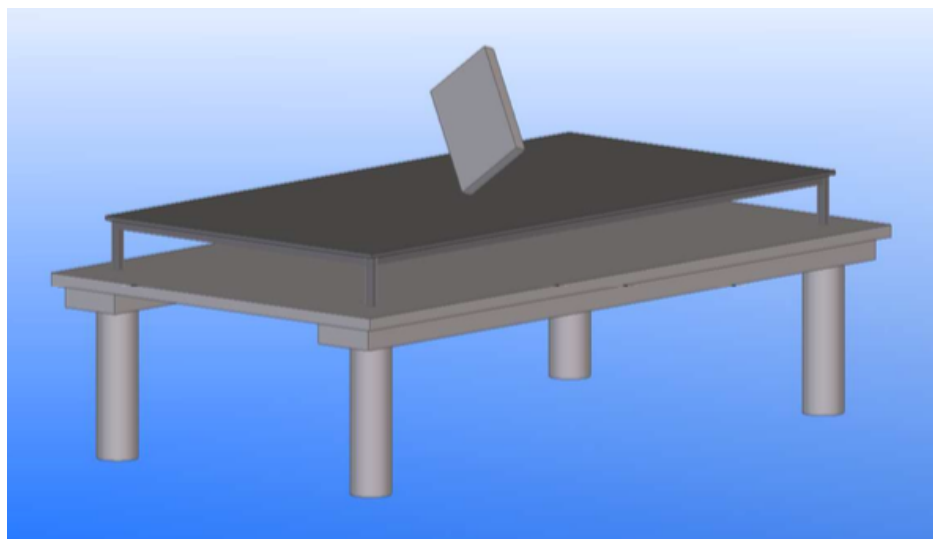
Båda metoderna för att beräkna stötkraften gav resultat, som är högre än vad den underliggande konstruktionen kan ta emot. Dessutom bevisar beräkningen av maximal tillåten massa på det fallande betongelementet att konstruktionen inte kommer att kunna klara av en stöt från ett element, som väger 10 000 kg. Luftmotståndet bidrar inte tillräckligt mycket för att bromsa in elementets hastighet och därmed minska på stötkraften. Resultaten som framstod bevisar således att det finns behov för åtgärder för att få den underliggande konstruktionen att hålla, eftersom lasten, som orsakas vid fallet, fungerar som en punktlast på en väldigt liten yta. Detta kombinerat med laster i storleksordningen meganewton (MN) betyder att det inte är frågan om något vanligt fall.

6 ÅTGÄRDSFÖRSLAG

I detta kapitel presenteras olika alternativa förslag på hur man kunde få den underliggande konstruktionen att klara av stöten från betongelementet. Dessutom beskrivs åtgärdsförslag på hur man kan undvika vissa skador, som kan förekomma även om konstruktionen inte kollapsar.

6.1 Dämpande konstruktion

De beräknade krafterna, som orsakas av stöten, är så stora att de inte kan tas emot enbart av den underliggande konstruktionen. Därmed kan alternativet med större armeringsmängd uteslutas. Tillsammans med handledarna på Ramboll har man funderat över olika slags alternativ på dämpande konstruktioner. Genom beräkningarna kan konstateras att konstruktionens förmåga att ge efter har stor betydelse på storleken av stötkraften. Ett alternativ skulle därför vara att ett tillfälligt fallskydd byggs ovanpå den underliggande konstruktionen. Detta fallskydd skulle bromsa in elementets hastighet före den tar kontakt med konstruktionen och därmed skulle inbromsningssträckan öka. Ett förslag på en dämpande konstruktion finns presenterat i figur 16 nedan.



Figur 16: Förslag på dämpande konstruktion, som skulle bromsa in elementets hastighet.

Den presenterade dämpande konstruktionen i figuren skulle byggas av stål samt vara flyttbar. Konstruktionen skulle stå på fyra ben och likna ett bord. Benen på konstruktionen skulle vara placerade så att de ligger rakt ovanpå betongpelarna, som bär upp

betongkonstruktionen. Därmed skulle kraften från elementet fördelas via benen till att verka rakt ovanpå pelarna. På detta sätt kunde man undvika att den första kontakten mellan elementet och den underliggande konstruktionen skulle vara mitt i spannet. I stället skulle den första impulsen tas emot av pelarna, som bättre skulle klara av krafterna. I och med att det skulle finnas tomrum mellan ytan på den dämpande konstruktionen och den underliggande konstruktionen, kan den dämpande konstruktionen ge efter tills den kollapsar och därmed bromsa in elementet. I det skedet är hastigheten hos elementet tillräcklig låg för att den underliggande konstruktionen ska klara av att ta emot kraften som uppstår. Det positiva med denna lösning skulle vara att, beroende på var lyftarbeten sker, så skulle man kunna flytta på fallskyddet till vilken plats som helst på gårdsplanen. Ifall det visar sig att den dämpande konstruktionen inte är tillräcklig, kan man dessutom lägga till sand på ytan av konstruktionen för att ytterligare öka på inbromsningssträckan.

6.2 Begränsning av elementets vikt vid olika höjder

I början av detta slutarbete konstaterades att om den underliggande konstruktionen inte kommer att klara av den last, som orsakas vid stöten, så kunde begränsning av elementets vikt vid olika höjder bli aktuellt. När fallet nu är den, att konstruktionen inte är tillräckligt hållbar, kunde man beakta denna aspekt vid planeringen av de två bostadsvåningshusen. I detta arbete har man inte beräknat om en begränsning av elementets vikt vid olika våningar skulle vara en lösning på problemet. Detta borde därför undersökas vidare för att säkerställa lönsamheten vid planeringen.

6.3 Splitternät i konstruktionen

Risken för att utstötning d.v.s. att det lossnar bitar från den underliggande konstruktionens undre kant under stöten finns och därmed behöver detta beaktas vid planeringen. För att minimera risken för utstötning kunde man lägga ett splitternät i plattans undre kant i samband med gjutning. Splitternätet skulle fungera som ett slags armeringsnät, men är mycket mindre till skalan. Eftersom splitternätet skulle placeras nära betongplattans yta, under huvudarmeringen, så kommer den att ta emot dragspänningarna i betongen och därmed hindra konstruktionen från att spricka i bitar.

7 FORTSATTA STUDIER

De flesta arbeten som skrivs är begränsade till en viss del. I detta arbete har stötkraften beräknats endast på två olika ställen, det vill säga det är tänkt att elementet faller endera på mitten av plattan eller på mitten av en efterspänd balk. Som en fortsatt studie kunde man alltså beräkna stötkraften på flera olika ställen av konstruktionen och jämföra alla resultat med varandra. Resultaten i detta arbete visade att konstruktionens förmåga att ge efter har betydelse och därför kunde det exempelvis undersökas hur stor stötkraften blir nära en av pelarna och hurdana skador som skulle uppstå där. På ett sådant ställe är konstruktionens förmåga att ge efter mindre än i de två undersökta ställen.

En annan fortsatt studie skulle vara att planera den dämpande konstruktionen. I detta arbete presenterades endast en lösning på hur man kunde dämpa stöten, men i verkligheten borde man räkna ut och se till att förslaget verkligen fungerar. Man kunde även komma på flera lösningar, för att dämpa stöten, och sedan välja den som lämpar sig bäst.

8 PROBLEMATIK

Det torde inte finnas arbeten, som kan genomföras utan problem, inte heller detta examensarbete. Det första problemet, som man fick kämpa med var att hitta litteratur. Det finns en del litteratur om dynamiska laster och olika beräkningssätt, men problematiken kommer in i bilden då man ska tillämpa dessa beräkningssätt och litteratur på ett specifikt projekt eller en situation med bestämda konstruktioner. I detta arbete märktes det då man behövde få reda på vissa värden, men ingen litteratur fanns tillgänglig för att kunna stöda sig på fakta. I sådana fall antog man vissa saker och därmed fick man riktgivande resultat.

Ett annat problem i arbetet var att man i början inte riktigt visste hur man skulle handskas med olycksfallet. Vad skulle egentligen hända om ett element på riktigt faller ner från höjder som dessa. Hurdana skador skulle förekomma o.s.v. Som tidigare spelade även här bristen på litteratur en roll.

Som sista problem vill jag lyfta fram beräkningarna, som utfördes med dimensioneringsprogrammen. Det utmanande var att få beräknat plastiska bärförmågor för efterspända konstruktioner. På grund av hög expertis hos handledarna på Ramboll lyckades man dock mycket väl i dessa beräkningar och därmed fick man ett resultat, som åtminstone är riktgivande.

9 SLUTDISKUSSION

Dynamiska laster och beräkningar med dem är ett område, som säkert kommer att bli mer och mer vanligt i framtiden. Det kommer säkert att utföras allt flera projekt där man behöver utreda liknande fall, som i detta examensarbete, i framtiden. I sådana fall där det finns risk för att större skador kan uppstå eller att människor kan vara i fara behöver man utreda hurudana konsekvenser, som kan förkomma om någon form av olycka sker. Det utmanande med detta är förstås att kunna förutspå hurudana olyckor som kunde ske.

Syftet med detta examensarbetet var att utreda om den underliggande konstruktionen håller om en viss typ av olycka sker i samband med byggande av köpcentret Tripla i Helsingfors. I början hade jag ingen erfarenhet av beräkningar eller utredningar av detta slag. Arbetet var mycket utmanande och därmed blev det minst lika lärorikt. Det viktiga, som jag hade i tankarna under arbetets gång och som motiverade mig att överkomma alla problem, var att slutresultatet skulle vara till nytta för företaget.

Till slut vill jag tacka Allan Andersson på Yrkeshögskolan Novia och Toni Wasenius på Ramboll för det stöd och den information jag fått för att kunna genomföra examensarbetet. Dessutom vill jag tacka övrig personal på Ramboll för hjälp och vägledning. Ett speciellt tack vill jag rikta till min handledare Joonas Tuikka på Ramboll, som hjälpt mig med beräkningar av olika slag, litteraturstudier samt för det stöd jag fått längs med arbetets gång.

KÄLLFÖRTECKNING

Akin, J.E. (u.å.). *Impact Load Factors for Static Analysis*. Rice University. [Online] <https://www.clear.rice.edu/mech403/HelpFiles/ImpactLoadFactors.pdf> [hämtat: 5.2.2016].

Ekengren, B., Johansson, M., Leppänen, J. & Laine, L., 2005. *Dynamisk lastpåverkan – referensbok*. Karlstad: Räddningsverket, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser.

Johansson, M., Ekengren, B., Laine, L. & Leppänen, J., 2012. Beräkningsanvisningar för strukturell dynamisk respons vid explosionsbelastning. *Bygg & Teknik*, 7/12, s. 36–41.

Kölfors, J., 1993. *Genomstansning av betongplattor – en jämförelse av några europeiska normer*. Lund: Examensarbete TVBK-5064. Tekniska Högskolan i Lund, Avdelningen för Bärande Konstruktioner.

LivePhysics (u.å.). *Solve problem related to impact force from falling object*. [Online] <http://www.livephysics.com/tools/mechanics-tools/solve-problem-related-impact-force-falling-object/> [hämtat: 12.1.2016].

SFS–EN 1991–1–7+AC Standard, 22.01.2007, Suomen Standardisoimisliitto SFS

The Constructor (u.å.). *Failure modes of concrete columns*. [Online] <http://www.theconstructor.org/structural-engg/failure-modes-of-concrete-columns/8933/> [hämtat: 23.3.2016].