



# Robusta konstruktionssystem - vad är det?

Sven Thelandersson  
Konstruktionsteknik, LTH



# Bakgrund

- Vi har ett fungerande säkerhetssystem för att ta hand om osäkerheter hos kända typer av laster/påverkningar och bärförmågeegenskaper

Men hur fungerar våra byggnadsverk när det oförutsedda inträffar?



# The Tjörn Bridge – steel arches



# The Tjörn bridge in the morning, Jan 18, 1980



# Tjörnbron var inte särskilt "robust"





## Raset vid Ronan Point i London 1968

Gasexplosion på 18 våningen orsakade s.k. fortskridande ras.

5 personer dog.

Huset var byggt av prefabricerade betong-element som var otillräckligt ihopfogade



# Ronan Point 1968

Ledde till omfattande forskning på området och följande krav formulerades runt om i världen:

”Skadan på en konstruktion skall inte vara oproportionerligt stor i relation till den händelse som orsakar skadan”



11 sept. 2001





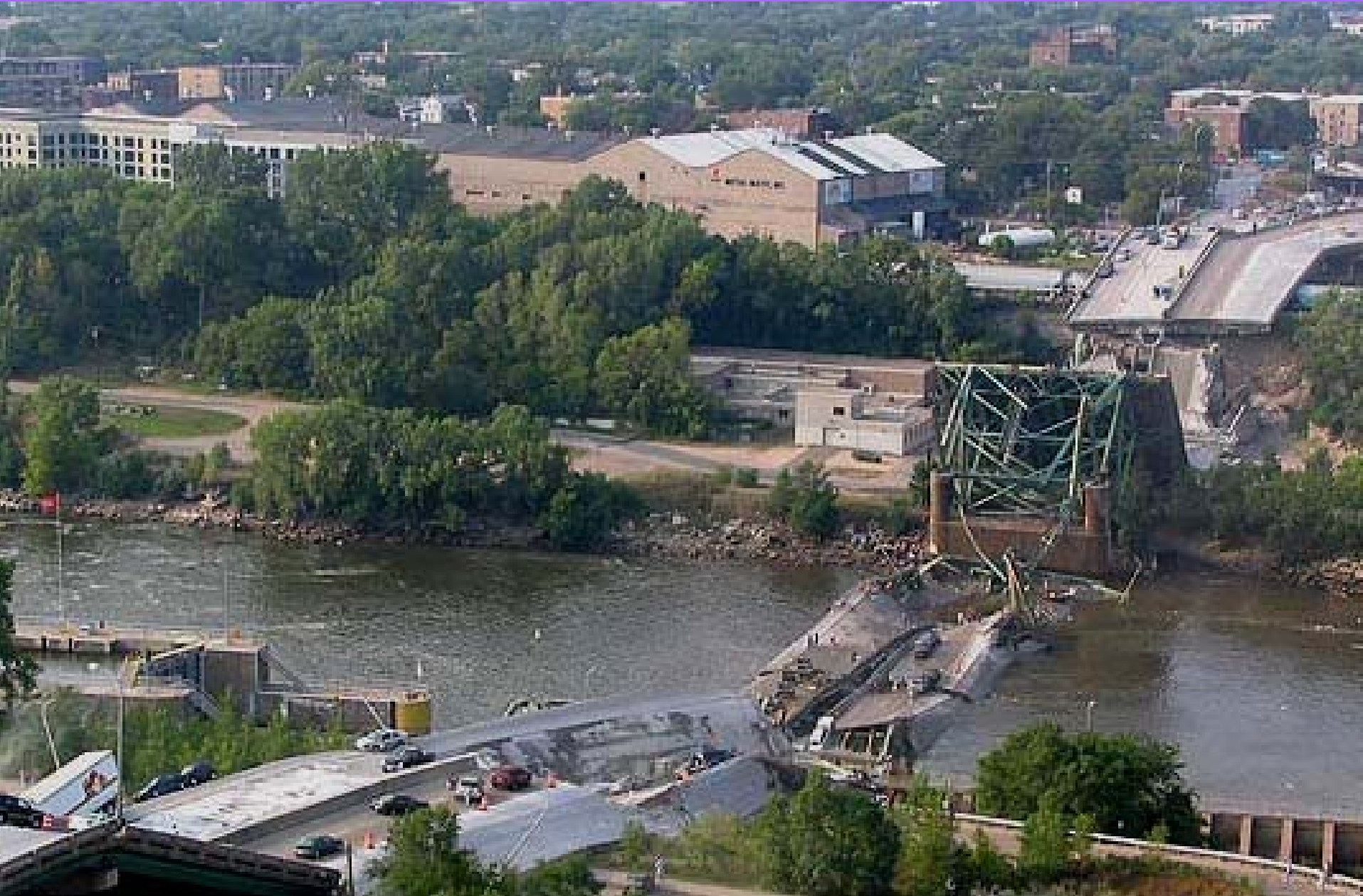
Bl.a denna händelse har på nytt aktualiserat frågeställningen om robusta konstruktioner



AP PHOTO



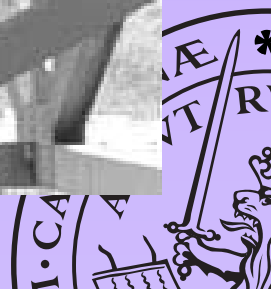
Bro för Interstate 35W –Minneapolis, USA, 1 augusti 2007



**Fackverksbåge i stål med huvudspänn 140 m byggd 1964-67**

**Brottorsak ännu ej klarlagd, men troligen initierades raset av lokalt brott i stålfackverket.**

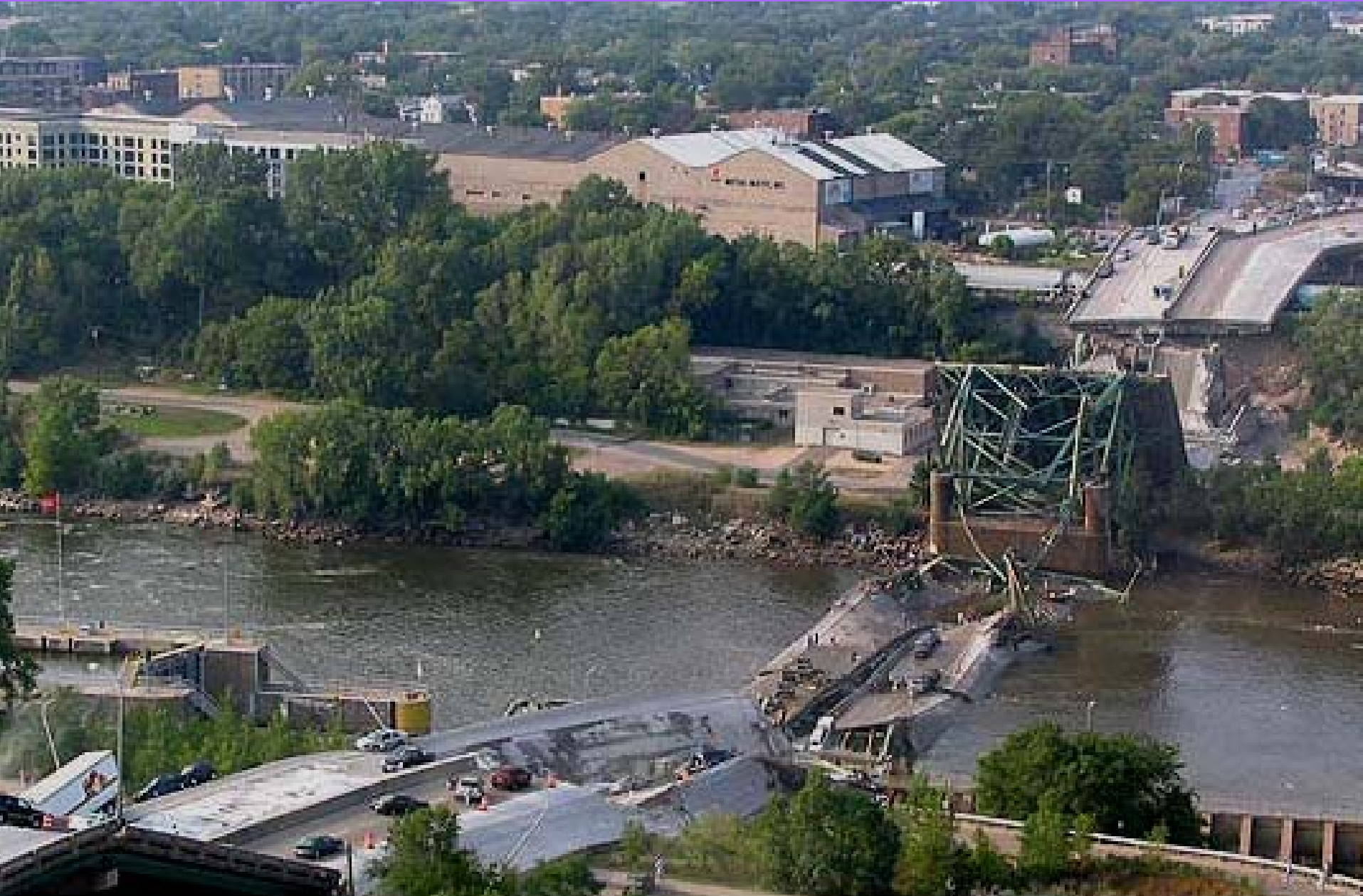
**Inspektion 2005: Betyg "Structurally deficient" (korrosion, sprickor, utmattning)**



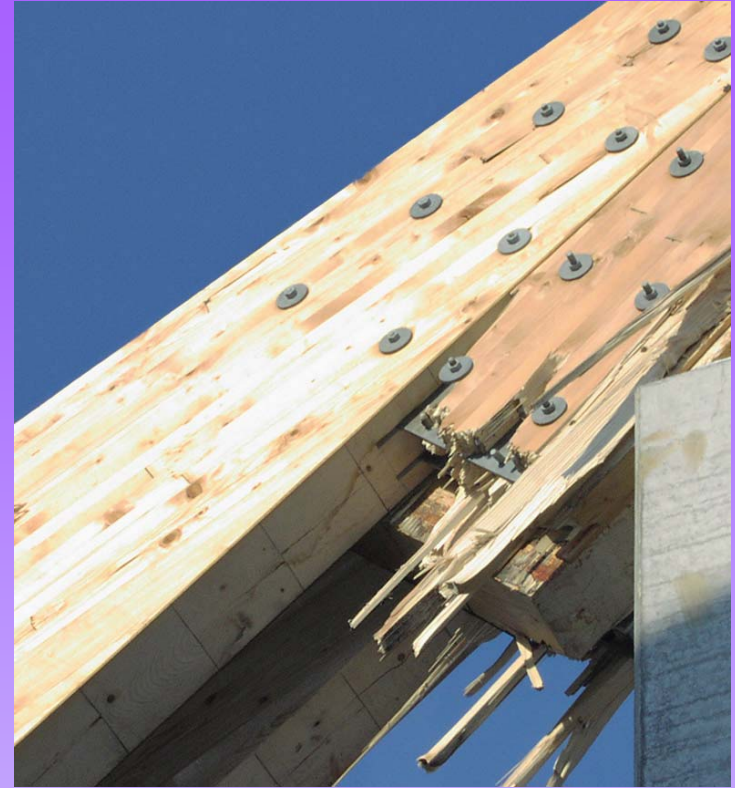
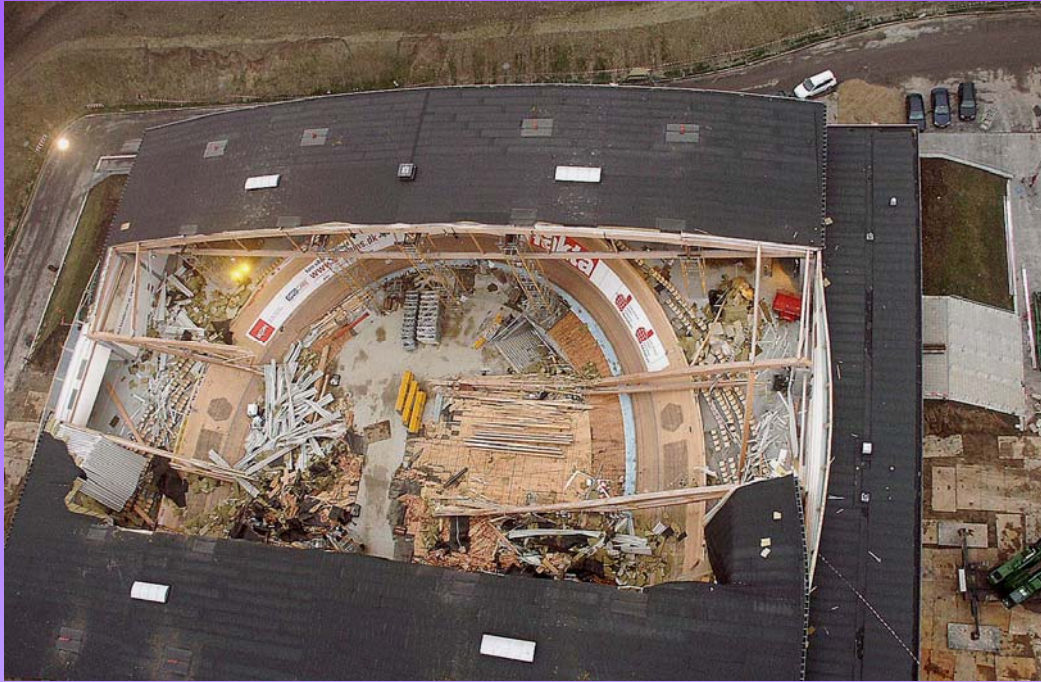
13 personer dödades och ca 100 skadades vid raset som skedde i rusningstrafik



**Fråga: Var konsekvenserna oproportionerligt stora i relation till den händelse som orsakade skadan, dvs. var bron robust?**



## Siemens arena, Danmark



**Brott initierades i ett förband, pga. grovt fel i dimensioneringen. Inga människor skadades.**

**Är omfattningen av skadan i proportion till orsaken?**

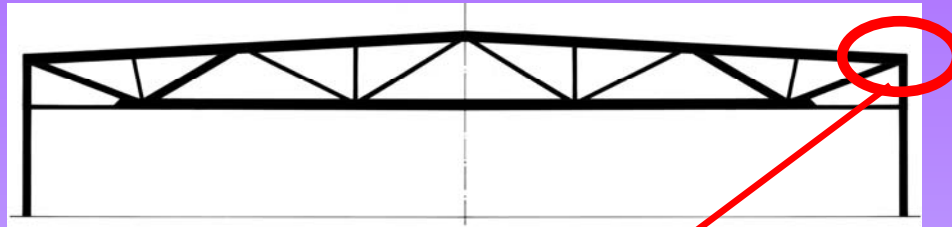
**Kunde byggnaden ha utformats så att konsekvenserna hade begränsats, särskilt med tanke på att det är en arena där många människor vistas?**



Omfattande kollaps (2500 m<sup>2</sup>) av utställningshall  
9000 människor besökte lokalen dagen före raset



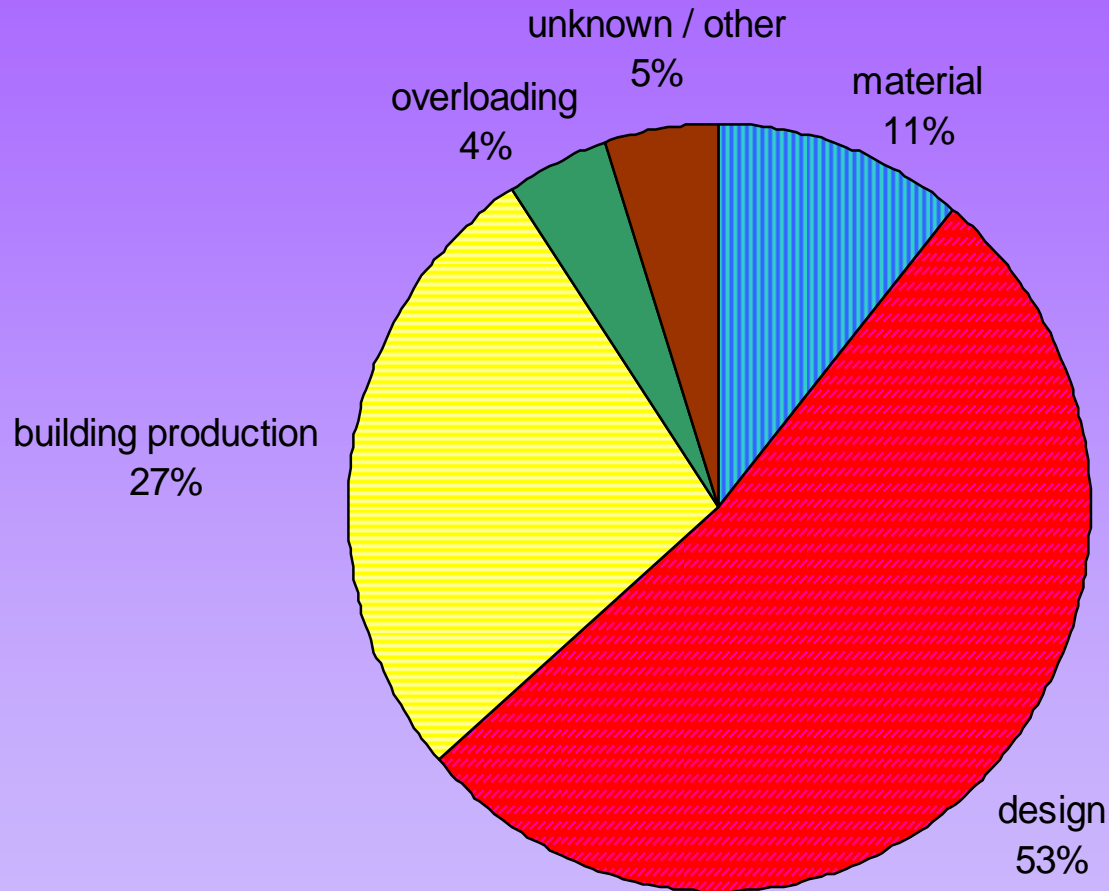
# Failure initiation- manufacturing error in dowel-type joint





# Undersökning av brott i träkonstruktioner 2007 (LTH/SP/VTT)

## Fördelning av orsaker (127 skadefall)



# Prime causes for failures, Walker, 1981

Gross human errors which could be reduced by checking and supervision	90 %
Unfavourable random effects	10 %
Loads	0%
Inaccuracies in model	3%
Deficiencies in materials	4%
Foreseeable deterioration	3%



# Generell slutsats från undersökningar av skadefall och kollapser

## Skadorna orsakas till övervägande del av grova mänskliga fel

- **Brist på kunskap (okunnighet)**
- **Fel i genomförandet (slapphet)**
- **Medvetna fel (girighet)**



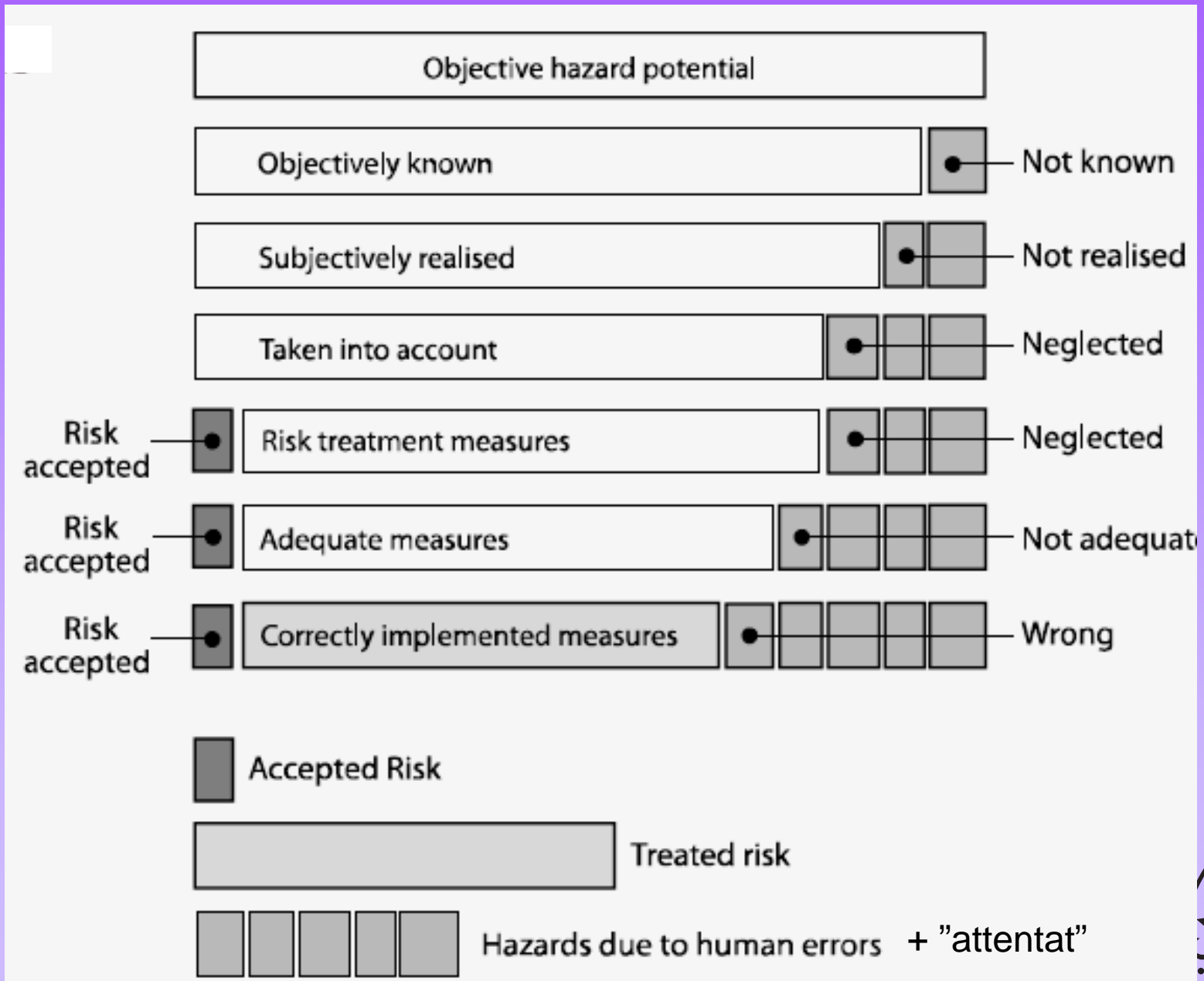
# Grova fel i byggprocessen

- Kan inte motverkas med högre säkerhetsfaktorer
- Kan motverkas med bättre kontroll och utbildning
- Denna typ av fel kan troligen aldrig helt elimineras

Men konsekvenserna av fel kan begränsas genom att konstruktionssystem görs mer robusta



# Hur ser den totala riskbilden ut?



# Vad menas med robusthet?

Försök till allmän definition:

- Ett systems förmåga att fungera under onormala omständigheter

Mera snäv definition för konstruktionssystem:

- Systemets tålighet ("insensitivity") mot lokal skada

Allmän enighet om att robusthet är en önskvärd egenskap, men allmänt accepterad definition av begreppet saknas



# Robusthet i vidare mening

(efter Sexsmith, 2005)

- **Konstruktionssystemet skall kunna**
  - hantera förutsedda laster även efter en begränsad skada
  - hantera icke förutsedda laster med små konsekvenser (konsekvenserna skall inte vara oproportionerligt stora i förhållande till den utlösande händelsen)
  - ge varning om förestående brott
- **Kritiska element isoleras eller skyddas från påverkan**
- **Element vars brott har stora konsekvenser dimensioneras för högre säkerhet**
- **Delsystem isoleras från varandra så att brott i ett delsystem inte påverkar övriga delar.**



Robusthet är en viktig egenskap som man bör sträva efter för alla viktiga byggnadsverk



Men hur gör man då?



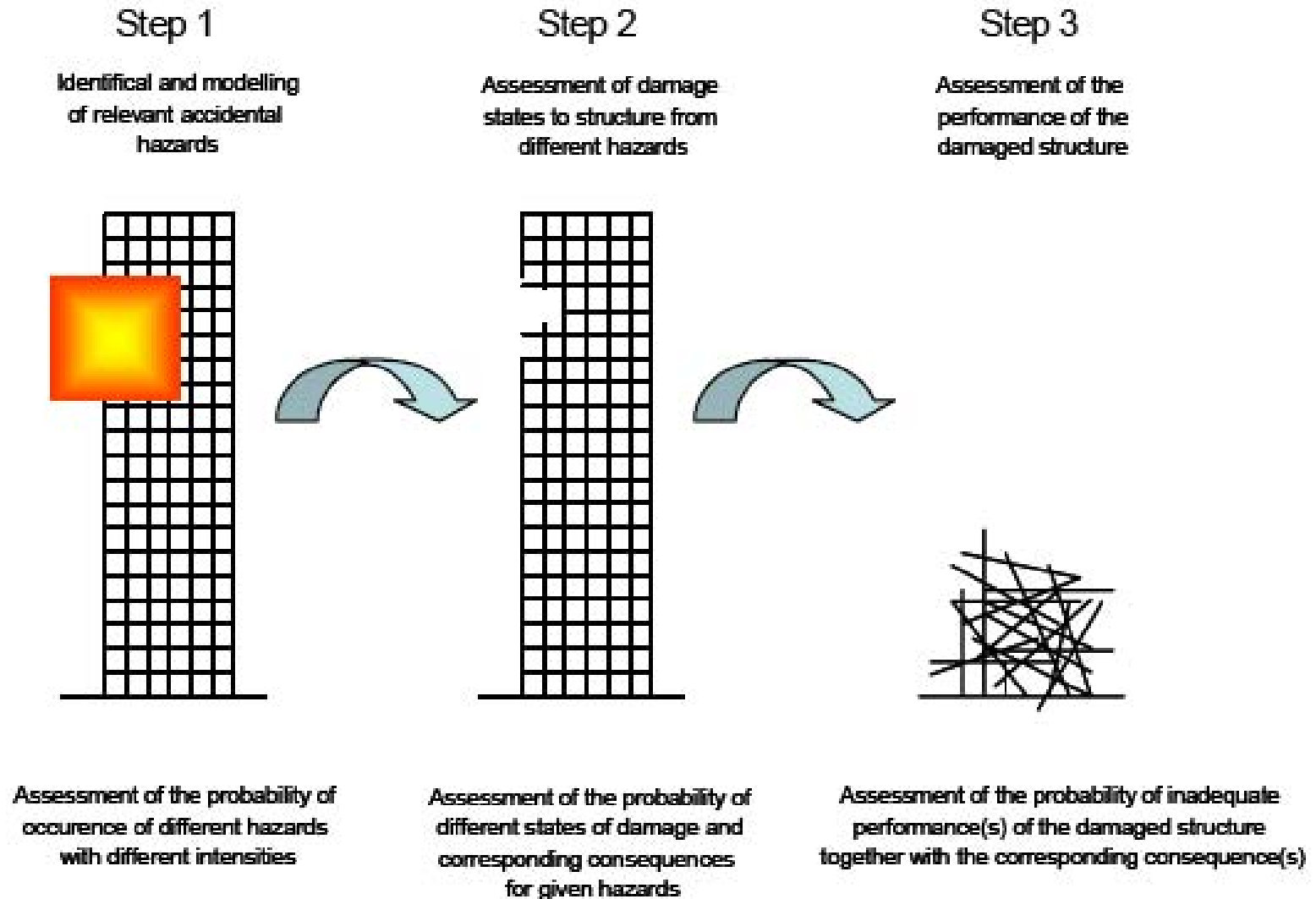


# Att utforma robusta konstruktioner?

- Standardrecept eller formler för att åstadkomma detta saknas
- Avancerad ingenjörsuppgift som kräver erfarenhet, kunskap och kompetens
- Riskanalys är ett viktigt instrument
- För byggnader finns vissa standardförfaranden, som dock passar dåligt för t.ex. broar
- Byggnadsverket måste betraktas som ett system. (Räcker inte med att undersöka enskilda element.)



# Koncept bakom Eurocode, BKR etc.



# Strategier för robusthet

- Definierad hotbild (olyckslast)
  - förhindra lokalt brott eller
  - uppskatta initial skada

Exempel: påkörning av fordon eller fartyg, gasexplosion

- Oförutsägbar hotbild
  - "godtycklig" initial skada

Exempel: terrorattentat, grova fel i byggprocessen

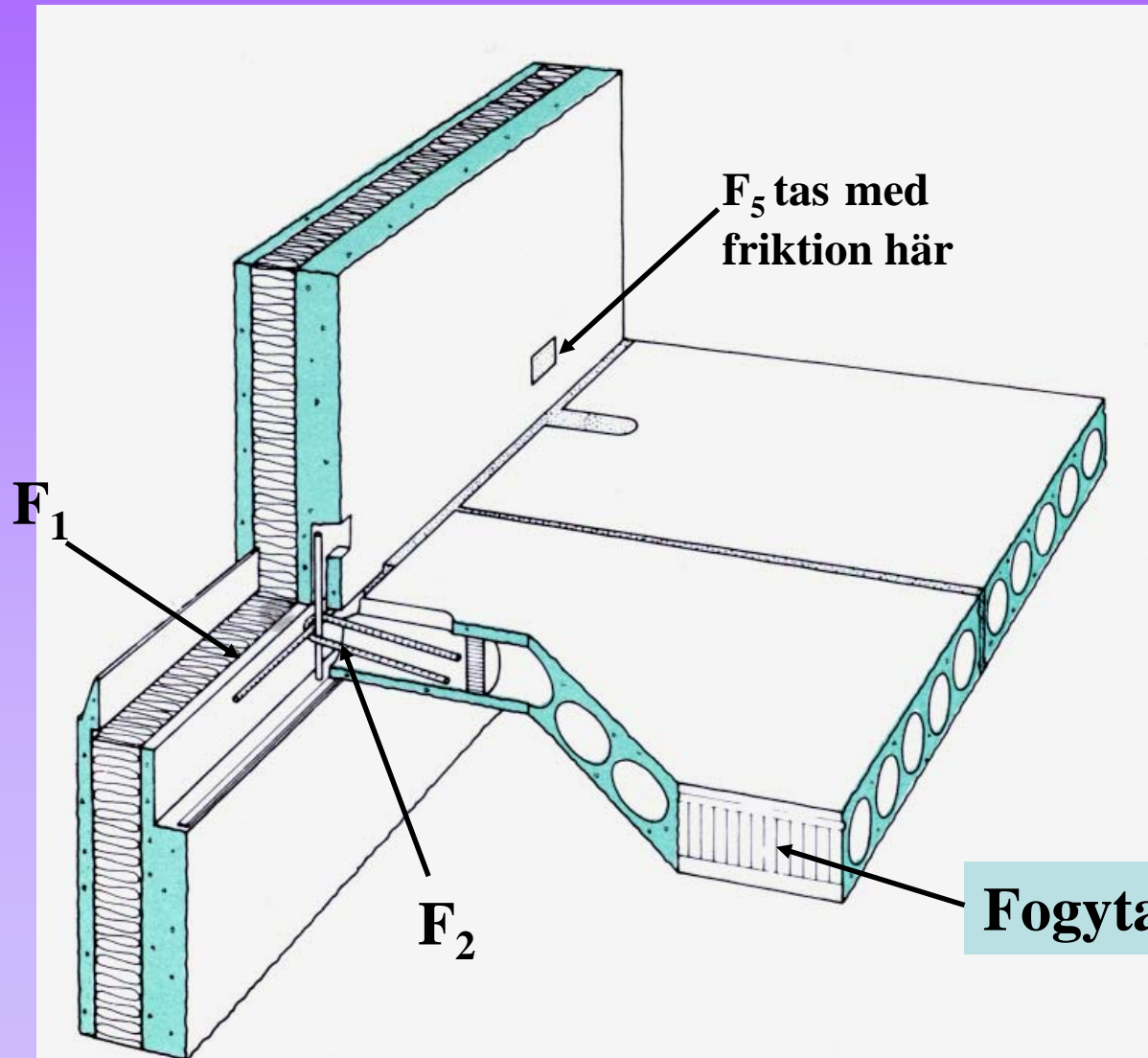


# Strategier för robusthet

- förhindra "lokalt brott" (förutsedd hotbild)
  - dimensionera kritiska delar mot olyckslast
  - skyddsanordningar
- förutsätt "lokalt brott" (förutsedd och oförutsedd hotbild)
  - alternativa lastvägar
  - avgränsning i delsystem (brottmodskontroll)
- preskriptiva regler (schablondimensionering)



Exempel på schablonregler -prefab betong  
Fogar mellan element skall kunna ta upp 20 kN/m i  
dragning och skjuvning, (BKR)



Upplag  
för  
HDF-  
plattor

Fogyta med friktion  $F_4$

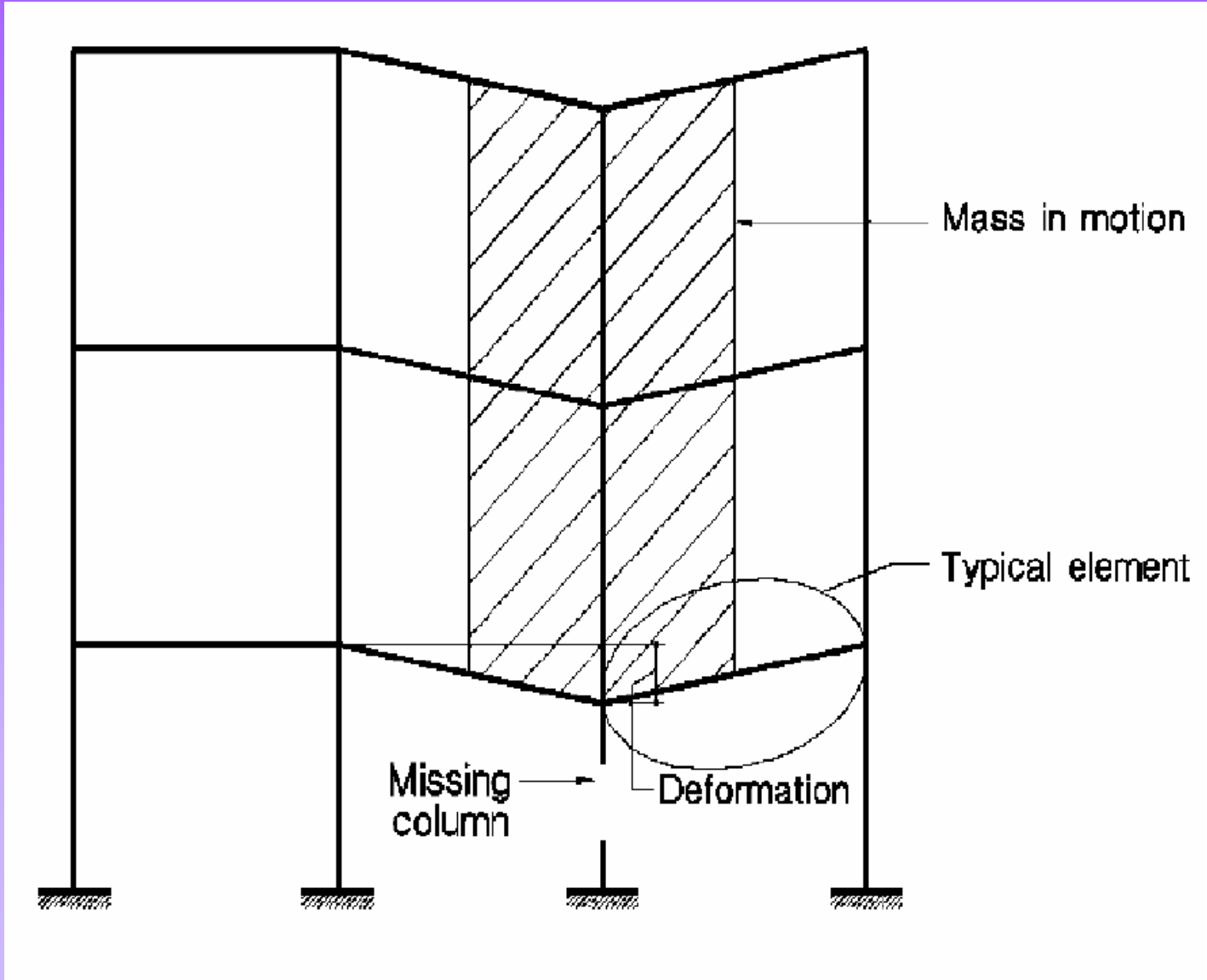


# Alternativa lastvägar - principer

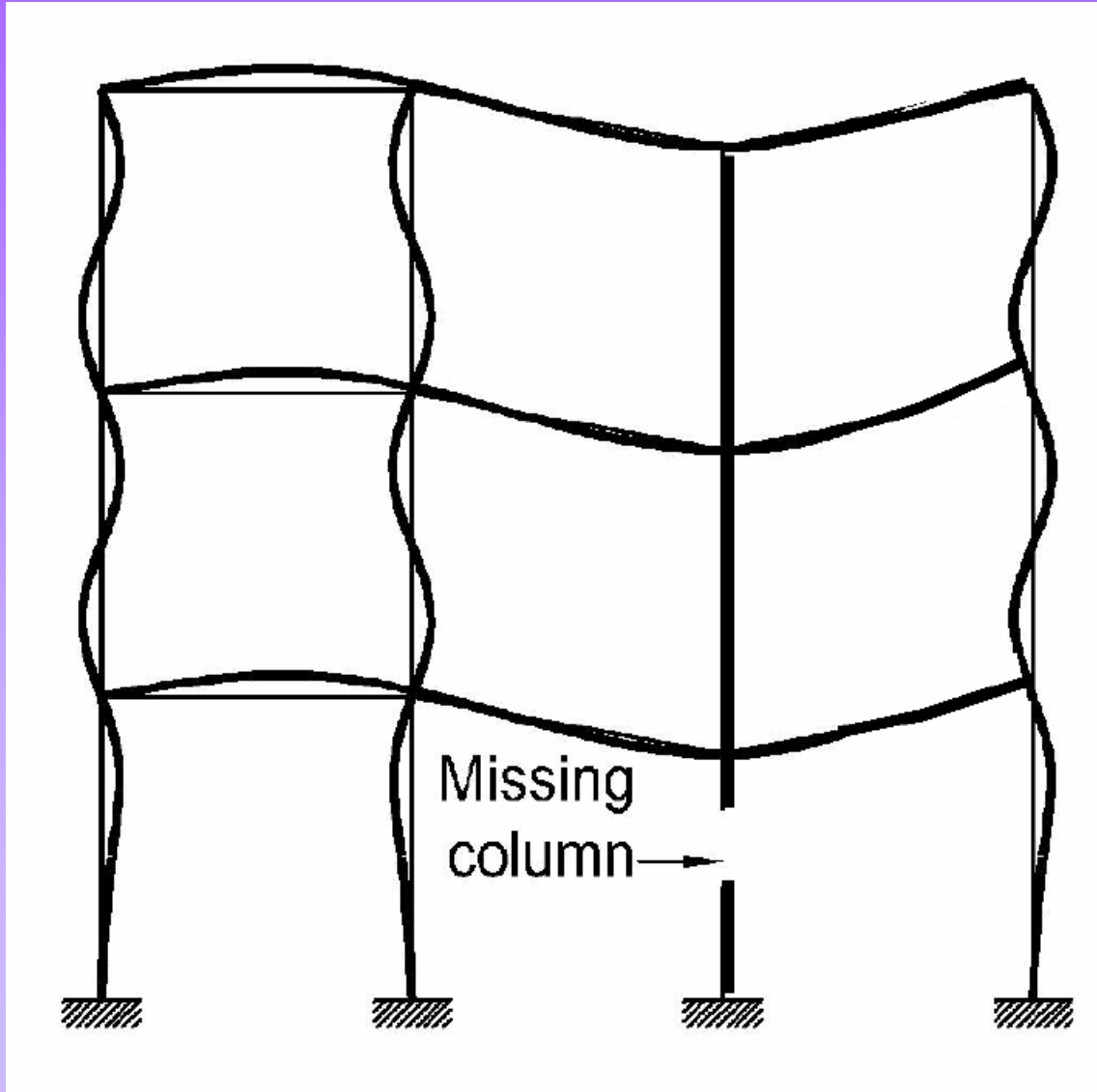
- Vierendeel verkan
- Bärlineverkan ("catenary action")
- Bågverkan
- Inhängning ("suspension")



# Alternativ bärning illustreras med stomsystem enligt nedan där en bärande pelare antas utslagen

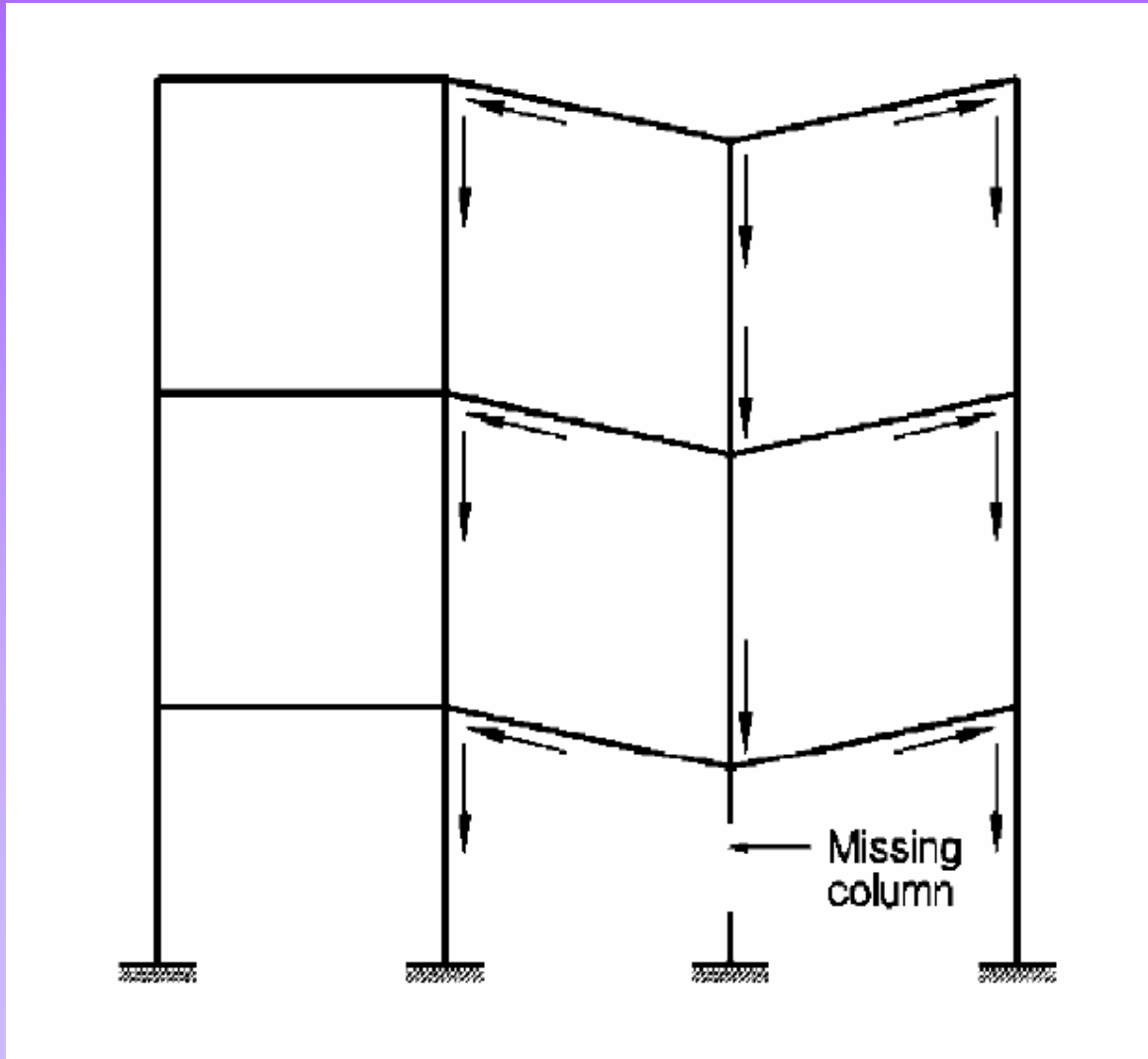


# Vierendeelverkan – krafterna tas upp genom momentstyva knutpunkter





# "Catenary" action (alternativ bärlina skapas genom stora deformationer)



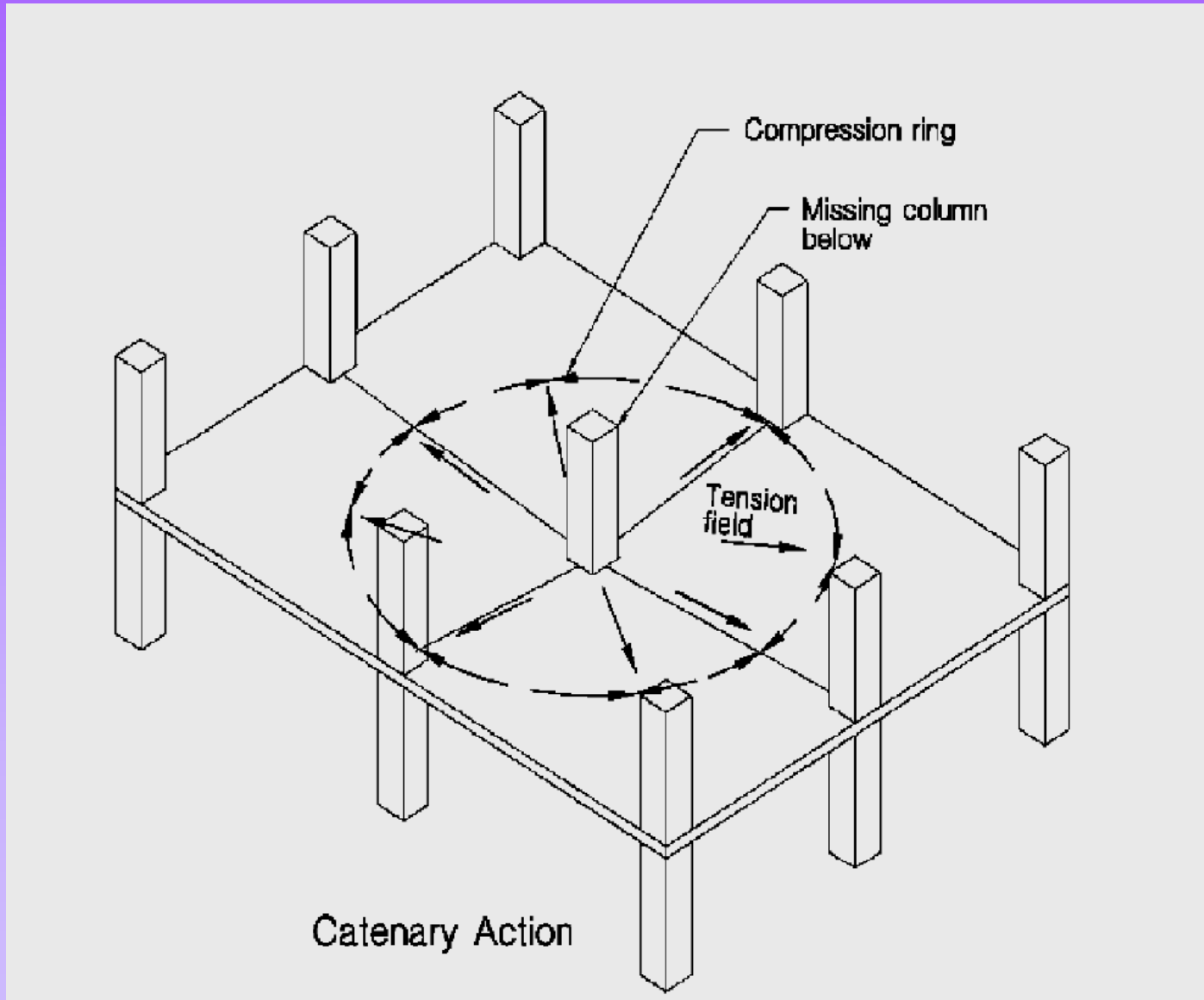
Krafterna överförs genom dragning i horisontella element vid kraftigt ökad deformation

Elementen måste kunna ta dragkrafter.

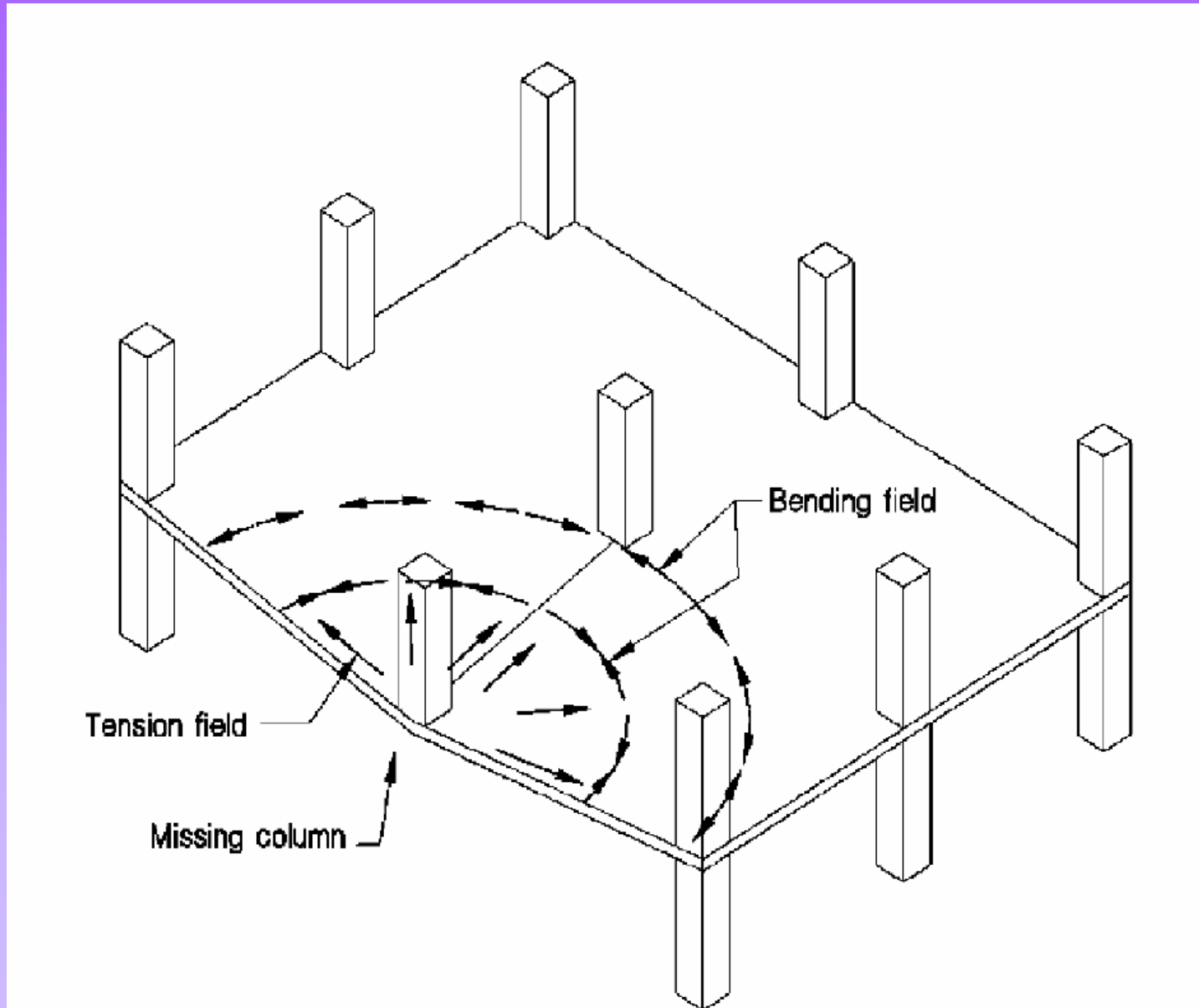
Dessa dragkrafter måste kunna tas upp i systemet



# Alternativ bärning lättare att realisera för platta som bär i två riktningar



# Kan fungera även vid plattans kant



Alternativa bärlinjer som är beroende av stora deformationer är inte helt enkla att verifiera

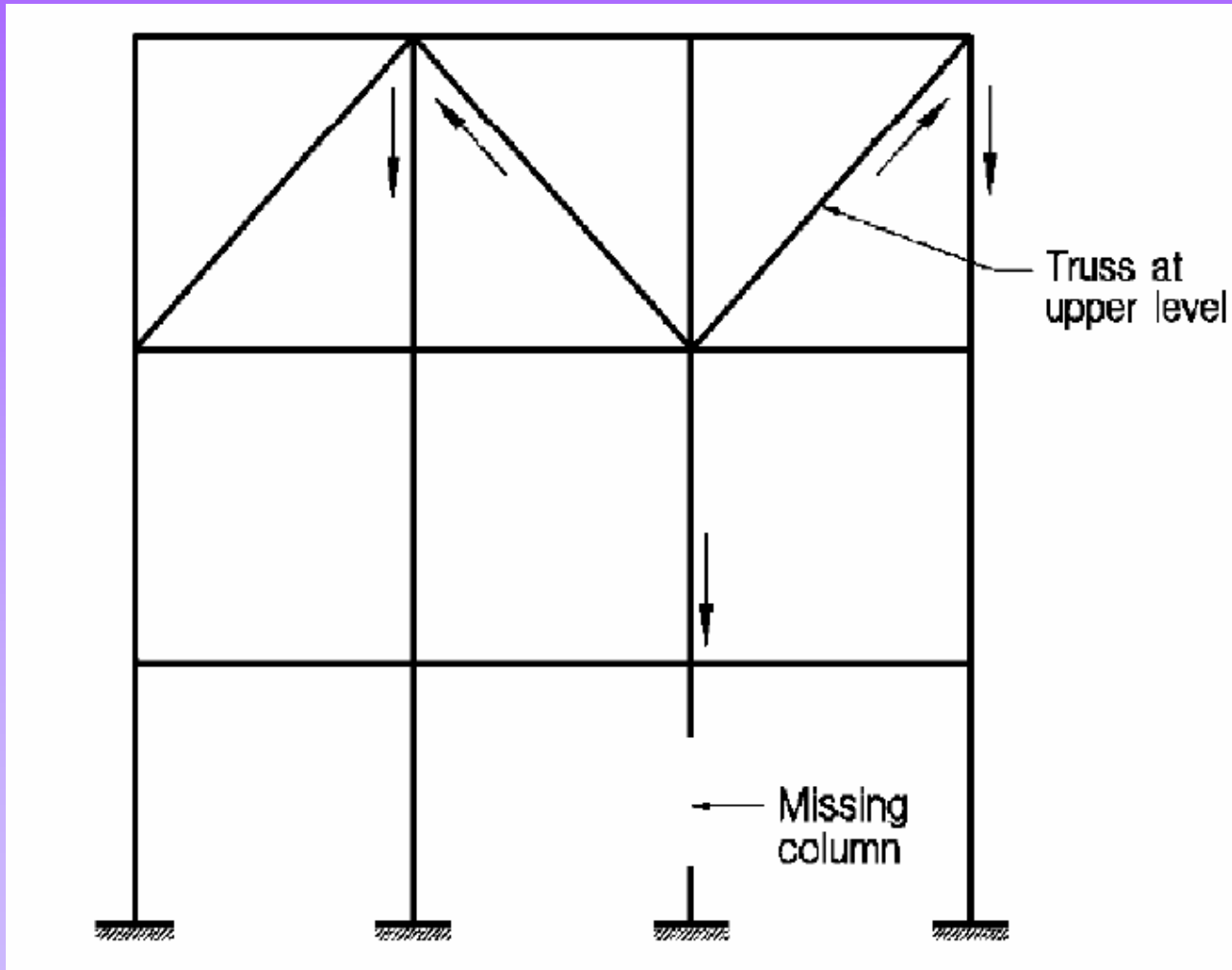
**Bärförmåga beror av**

- elementens styvhet
- knutpunkters detaljutformning

**Men metoder finns för att beskriva fenomenen**



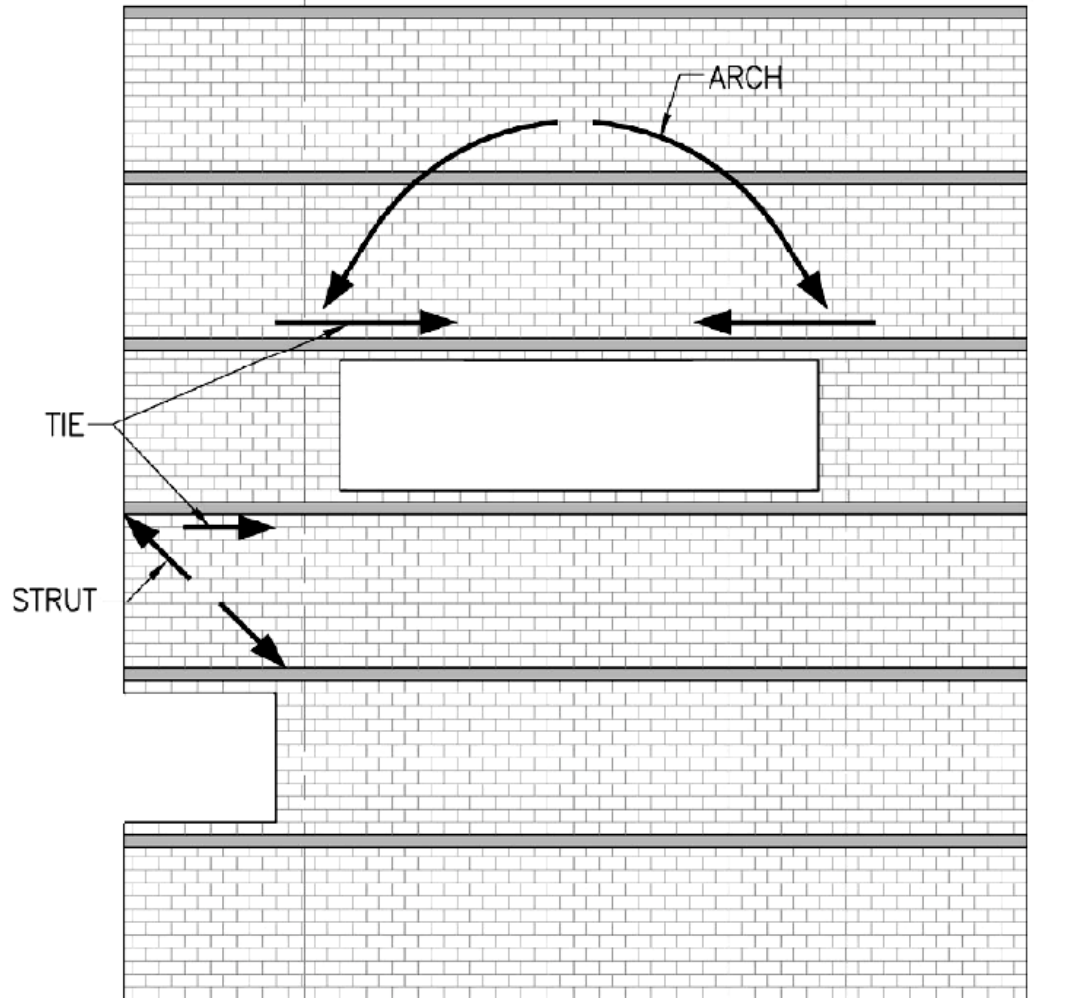
# Inhängning i överliggande konstruktioner



- Små rörelser
- Ofta svårt att realisera
- Stora krav på detaljutformning



# Bågverkan kan utnyttjas i skivkonstruktioner

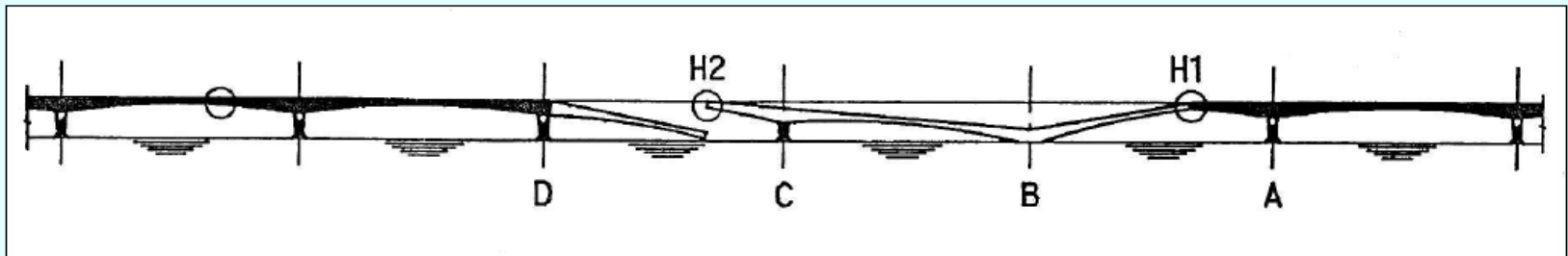


Kan verifiers med enkla "strut & tie" modeller

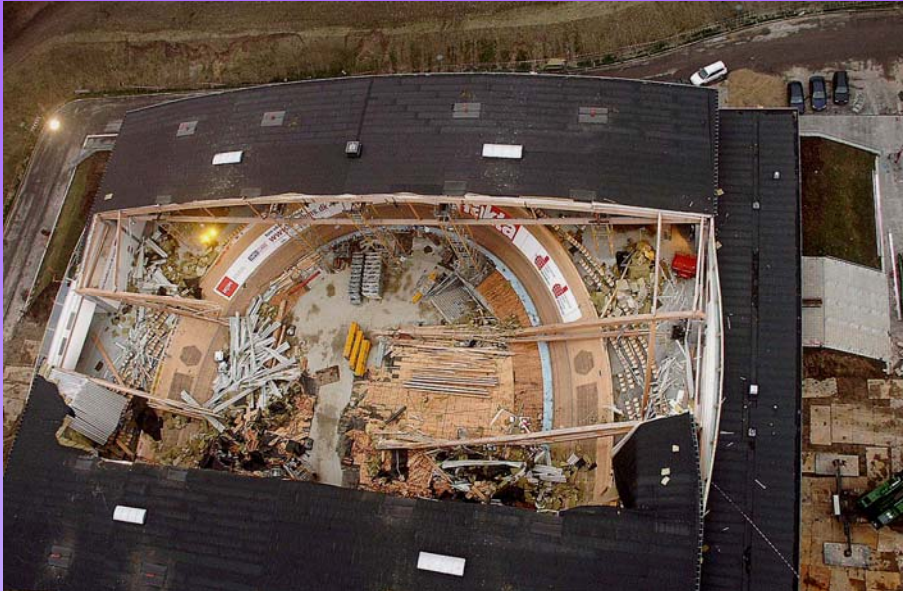


# Avgränsning i delsystem

Delar av systemet offras så att resten blir opåverkat



## Isolering genom avgränsning - exempel



Siemens arena- två huvudbalkar  
kollapsade resten påverkades inte  
Byggnaden kan anses robust!!

Svagt snitt



Charles de Gaulle – Paris

Ca 20 m lång del kollapsade –  
resten blev opåverkat





# Slutsatser om robusta konstruktioner

- Oförutsedda händelser inträffar (med låg sannolikhet)
- Konsekvenserna kan begränsas genom att skapa robusta konstruktioner
- Begreppet robusthet är inte klart definierat
- Både kända och okända hotbilder behöver hanteras
- Olika typer av metoder för att skapa robusta system:
  - > förhindra initial skada (endast vid känd hotbild)
  - > alternativa lastvägar efter lokal skada
  - > offra del av systemet så att resten inte skadas
  - > schablonmetoder (endast i specialfall)



Systematisk metodik behöver utvecklas för att hantera risker och utforma robusta byggnadsverk

**Omfattande forskning har initierats i USA efter 11 september**

**En EU COST\* Action TU 601 "Robustness of structures" startades 2007**

**Svenska representanter:**

**Sven Thelandersson**

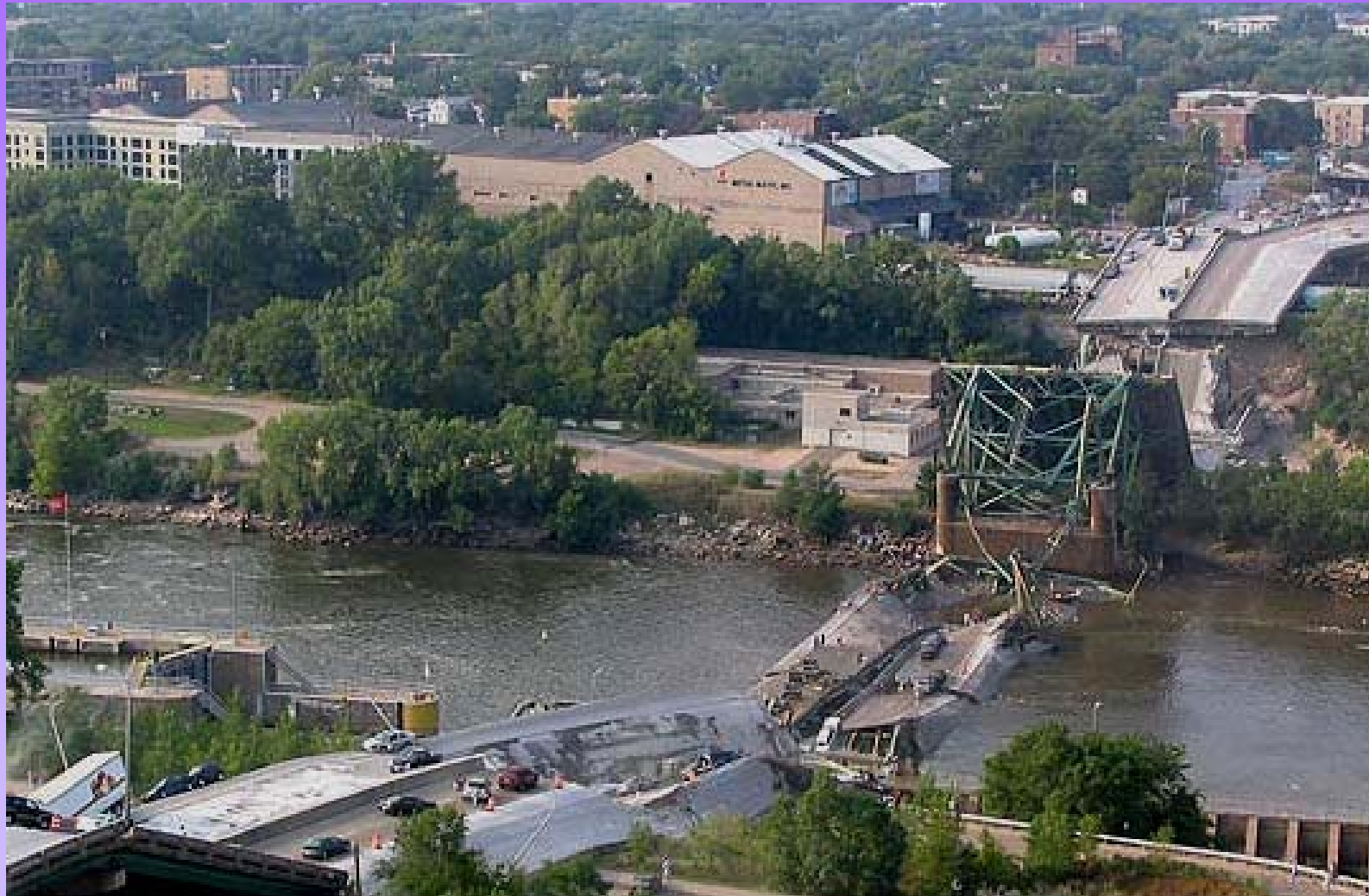
**Ove Lagerqvist**

**Målet är att stimulera samverkan mellan existerande FoU-projekt på området och initiera nya projekt**

\*COST = Co-Operation in Science and Technology (stött av EU)



Tack för uppmärksamheten!



*Konstruktionsteknik, LTH*

