

POUČENÍ Z KOLAPSU

WTC 11/9/2001

František Wald
ČVUT v Praze



Obsah

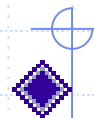
◆ Zřízení WTC 1 a WTC 2

◆ Požár v objektech zasažených troskami

- WTC 3
- WTC 5
- WTC 7

◆ Závěry

PODKLADY



Zpráva vládní komise
USA (McAlister, 2002)

<http://www.fema.gov/library/wtcstudy>

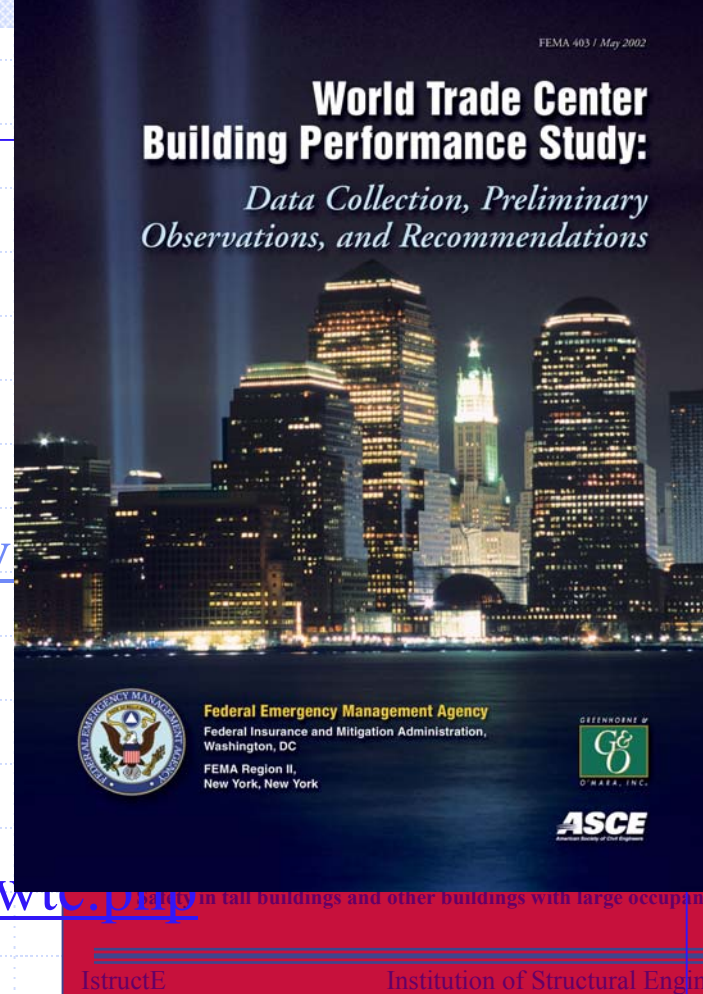
Zpráva Institutu staveb. ing.
Velká Británie (IstructE, 2002)

<http://www.icivilengineer.com/News/wtc.html>

Organizačně požární

Obecně požární

Statické povahy



Soubor materiálů

FSG, Francie (CD), Australie

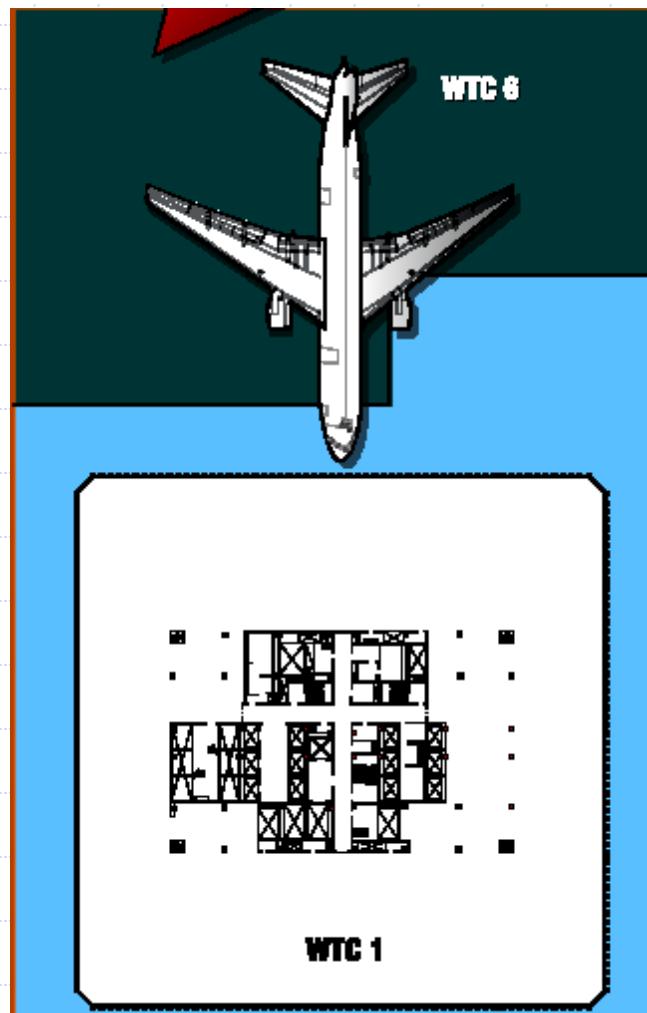
WTC 1

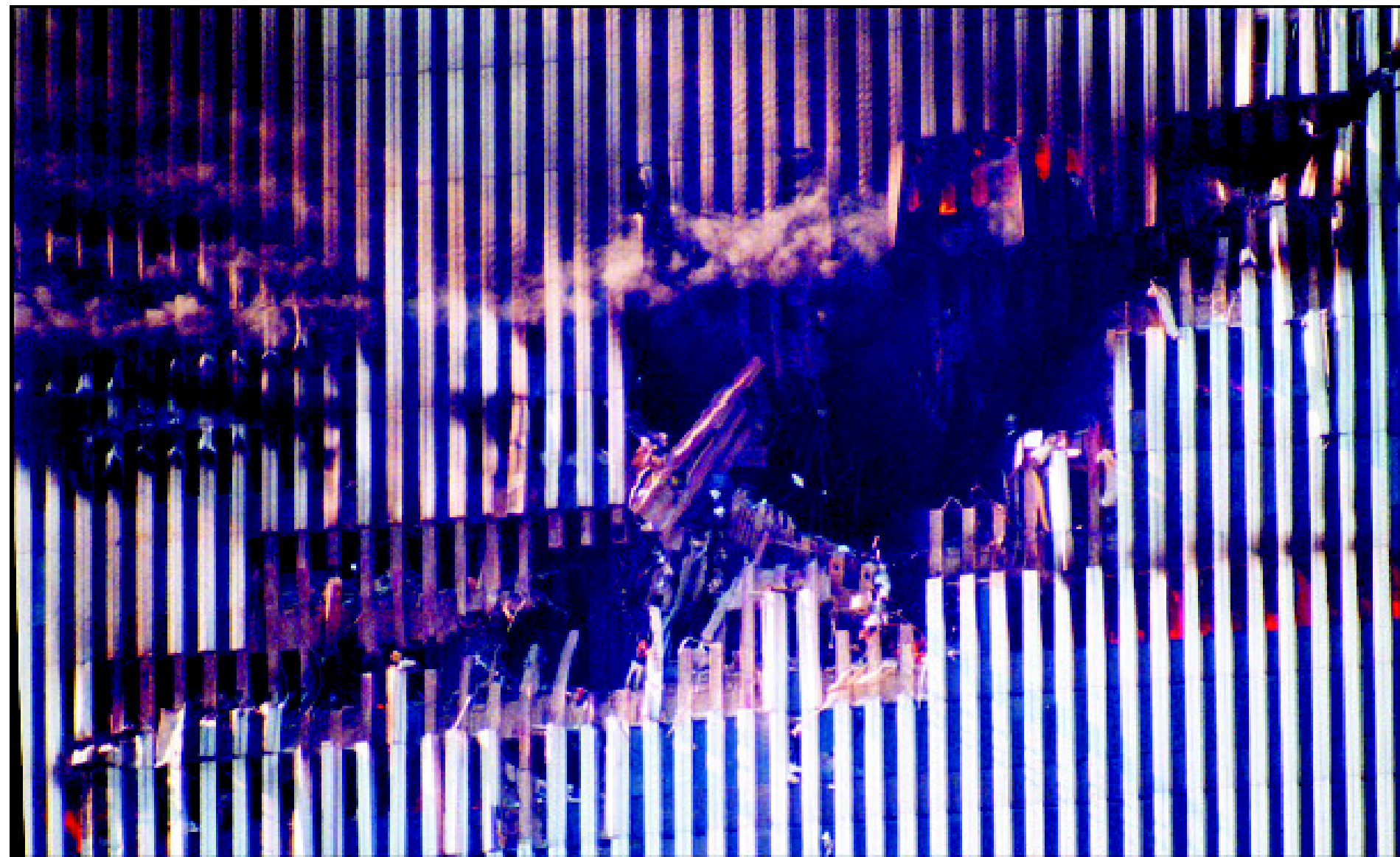


- Změna působení konstrukčního systému umožnila setrvat **WTC 1 ještě 1 hodinu 43 minut a WTC 2 56 minut.**



- Narušené konstrukce byly vystavena požáru kancelářského nábytku iniciovanému palivem letadel

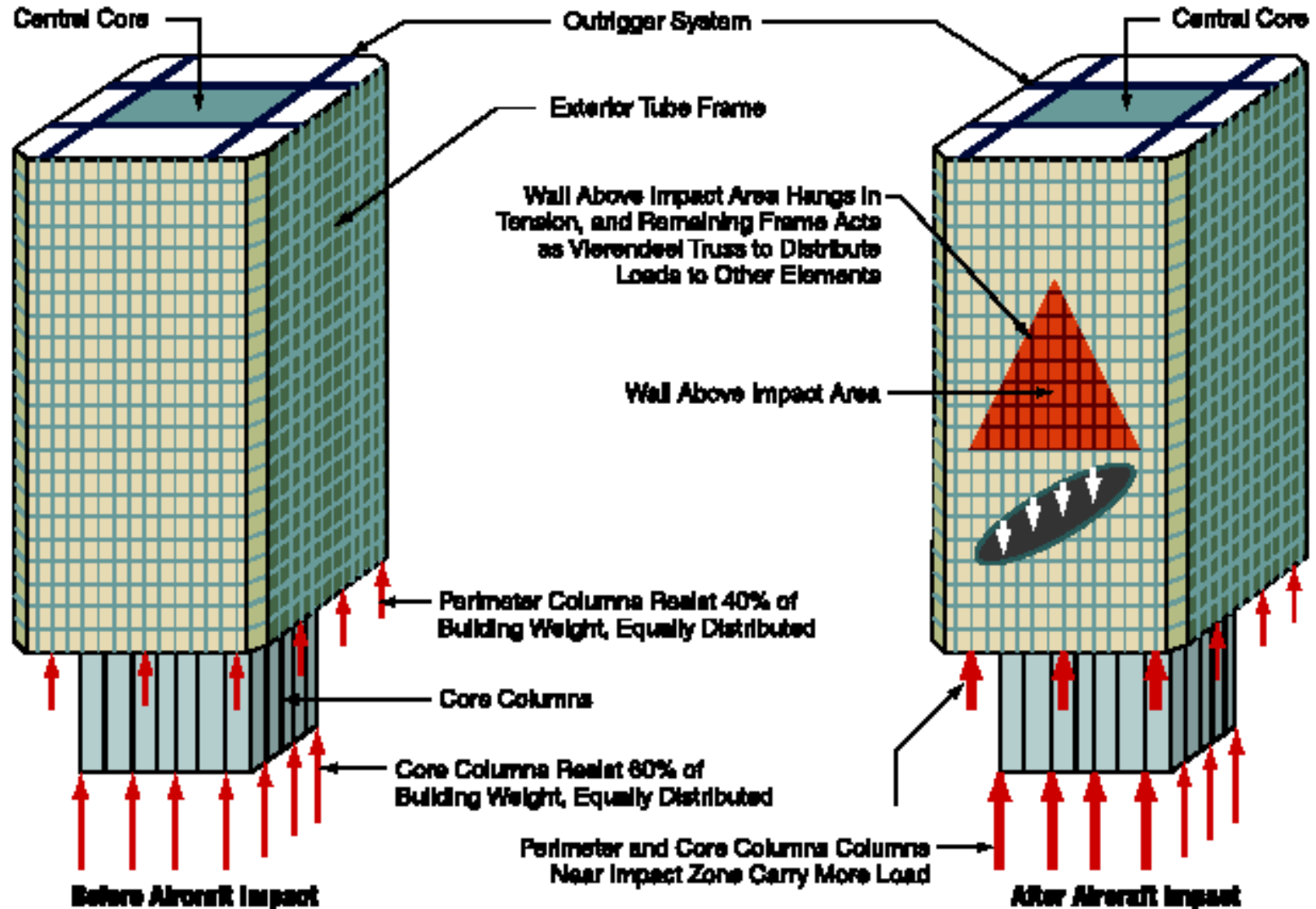




Porušení sloupů na záběru videokamery

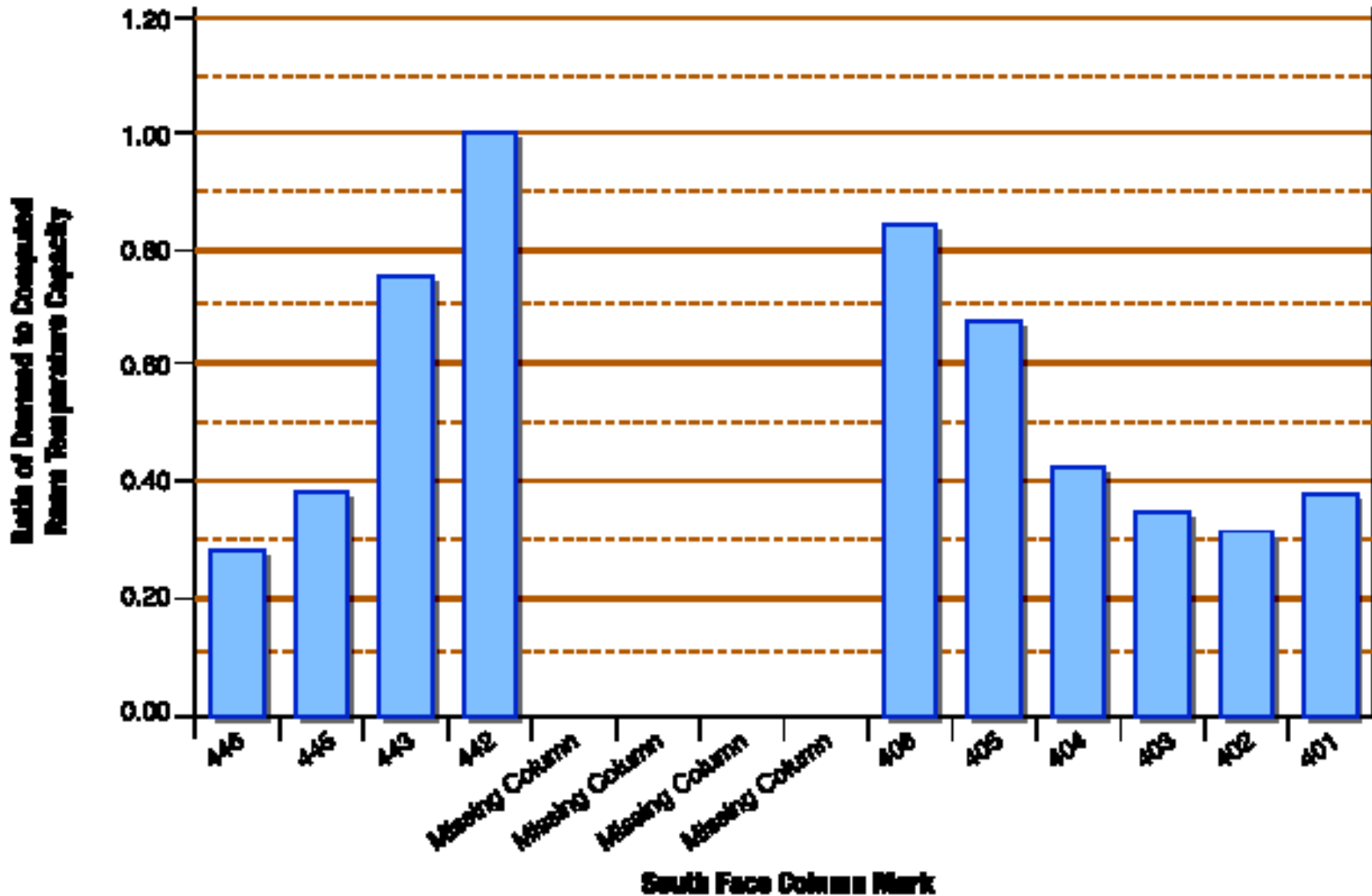


Redistribuce sil ve sloupech





Chybějící sloupy předpoklad redistribuce sil

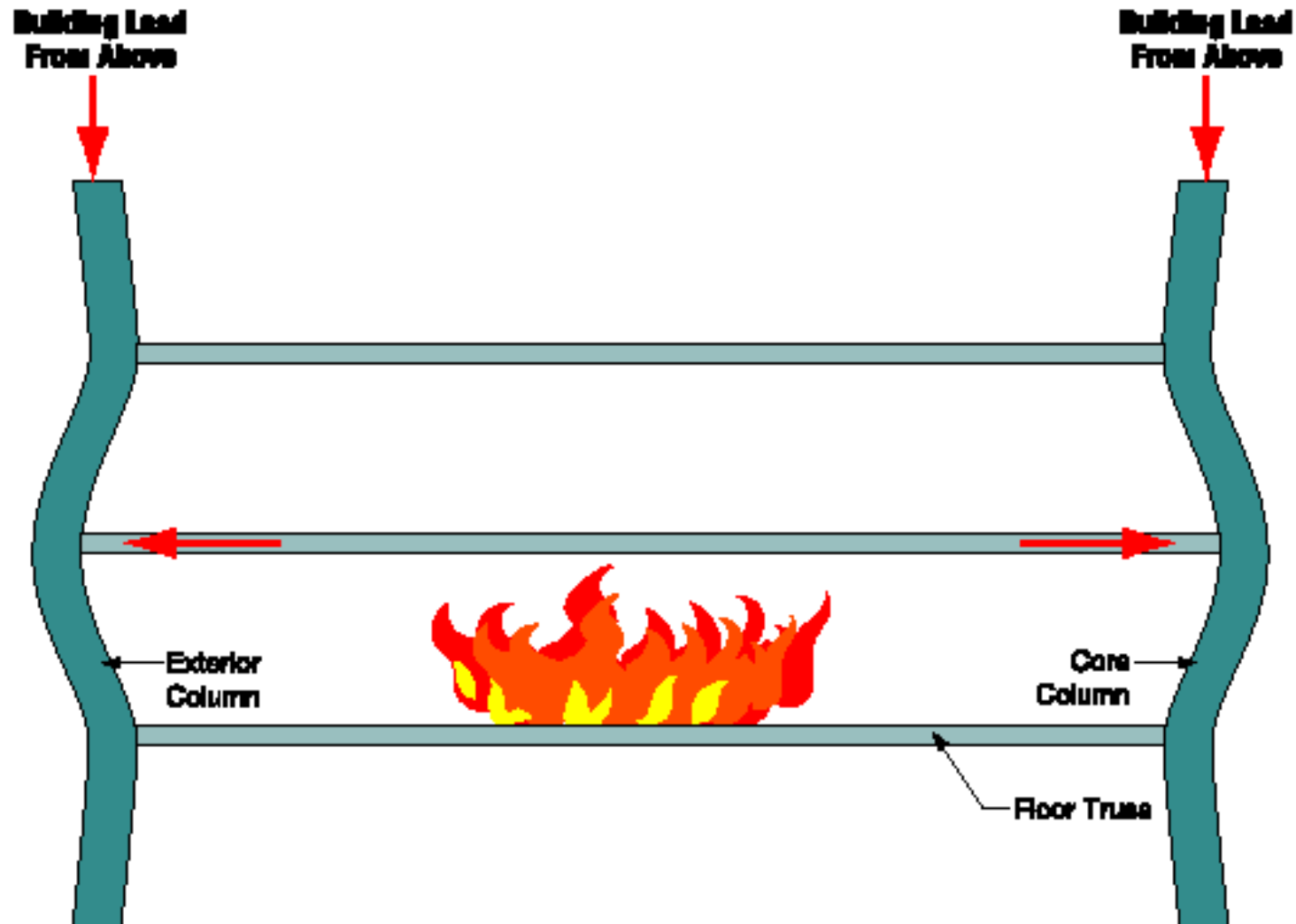




Iniciace požáru výbuchem paliva



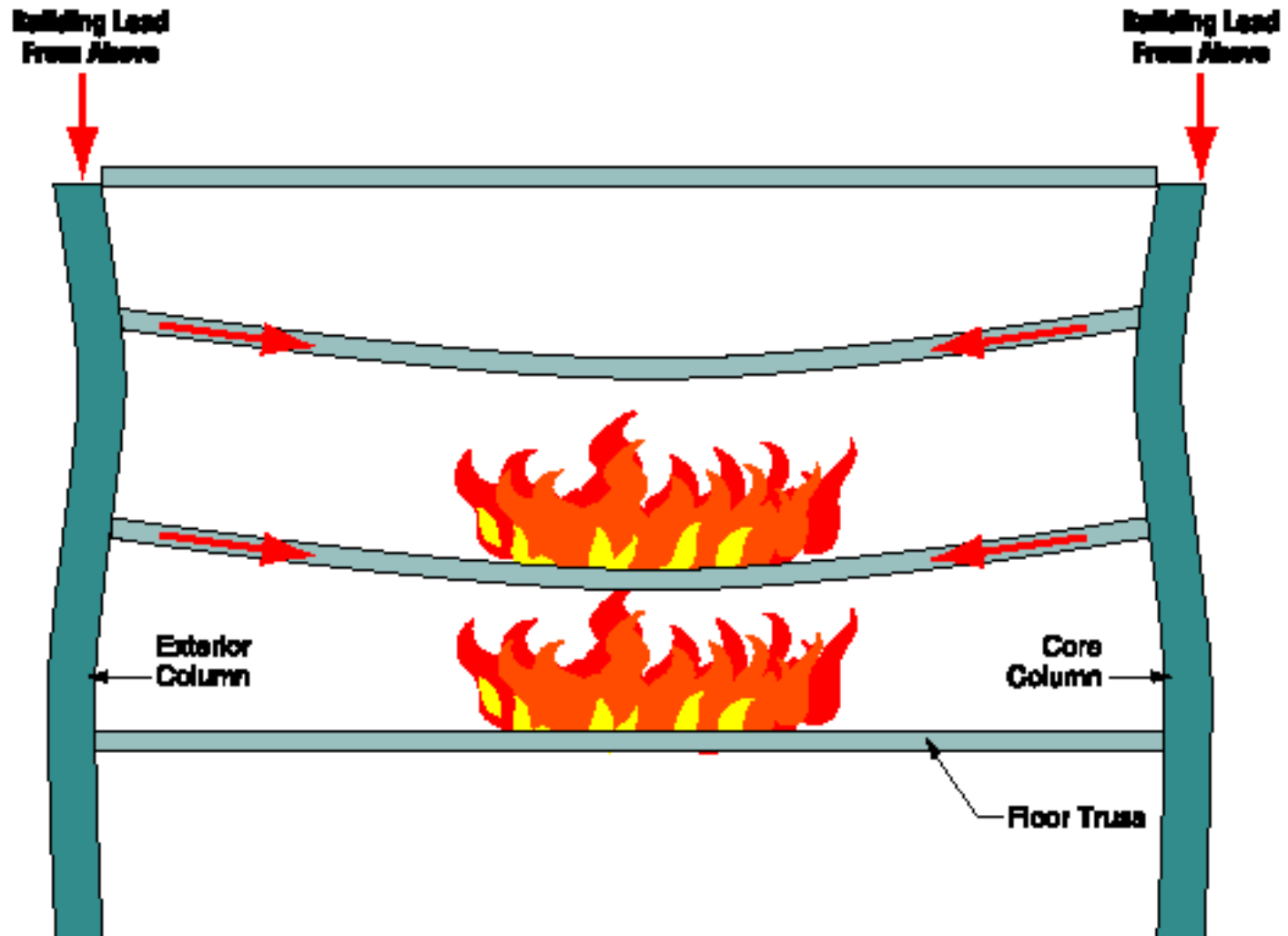
Předpoklady progresivního kolapsu



Ohřívání konstrukce

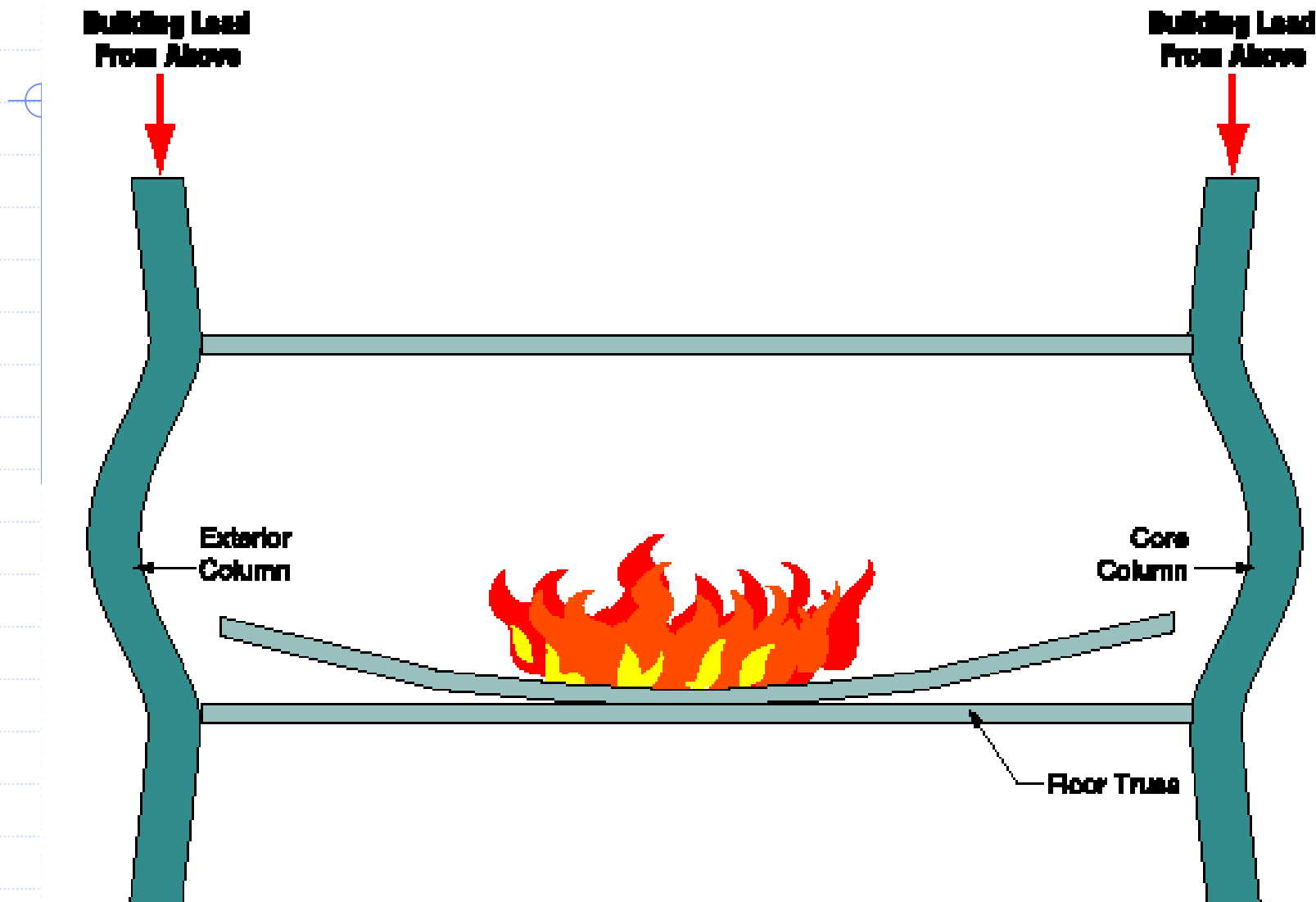
Hoření kancelářského vybavení





Chladnutí konstrukce

Porušení styčníků

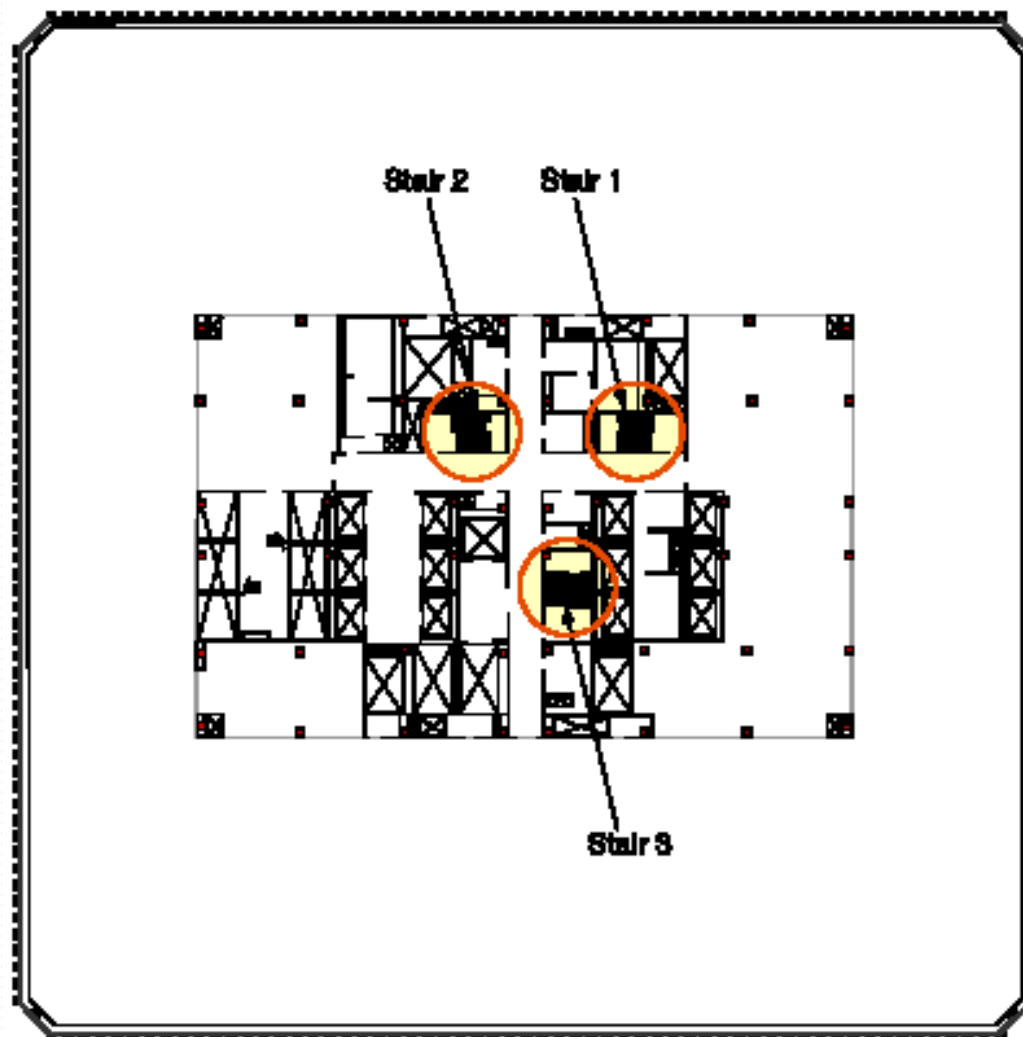


následná ztráta stability sloupů při chladnutí

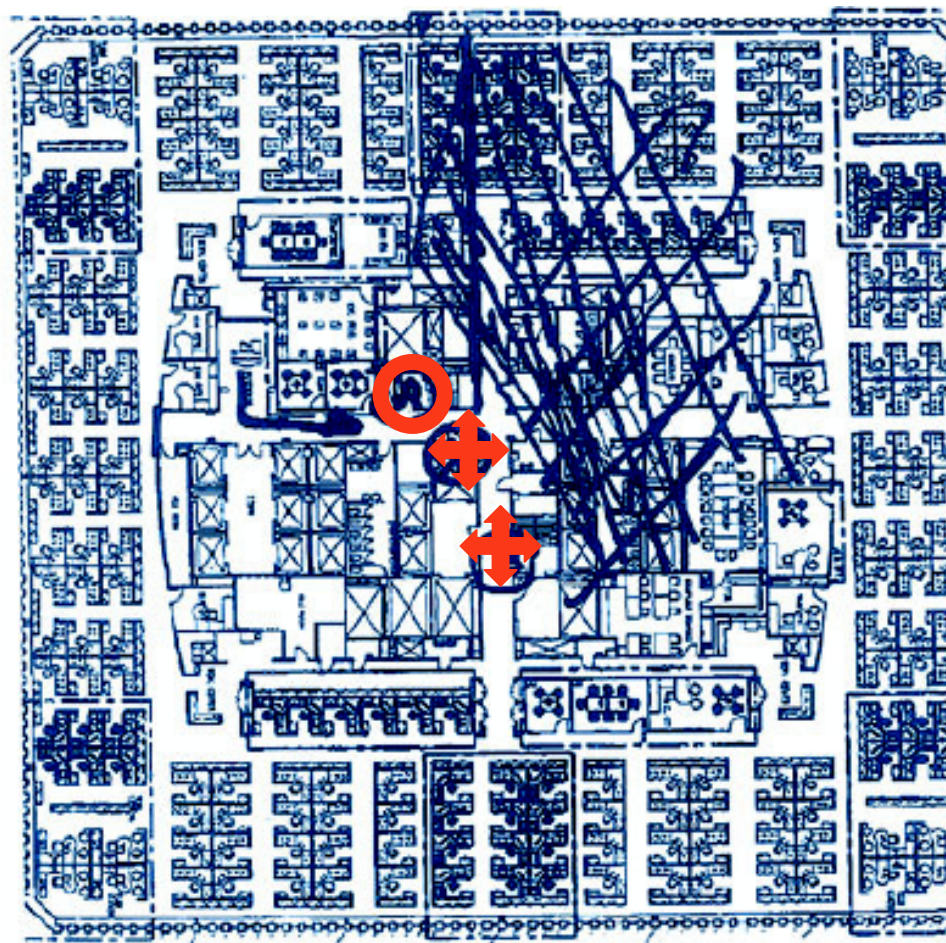


Progresivní kolaps 1 hod 43 min po zásahu

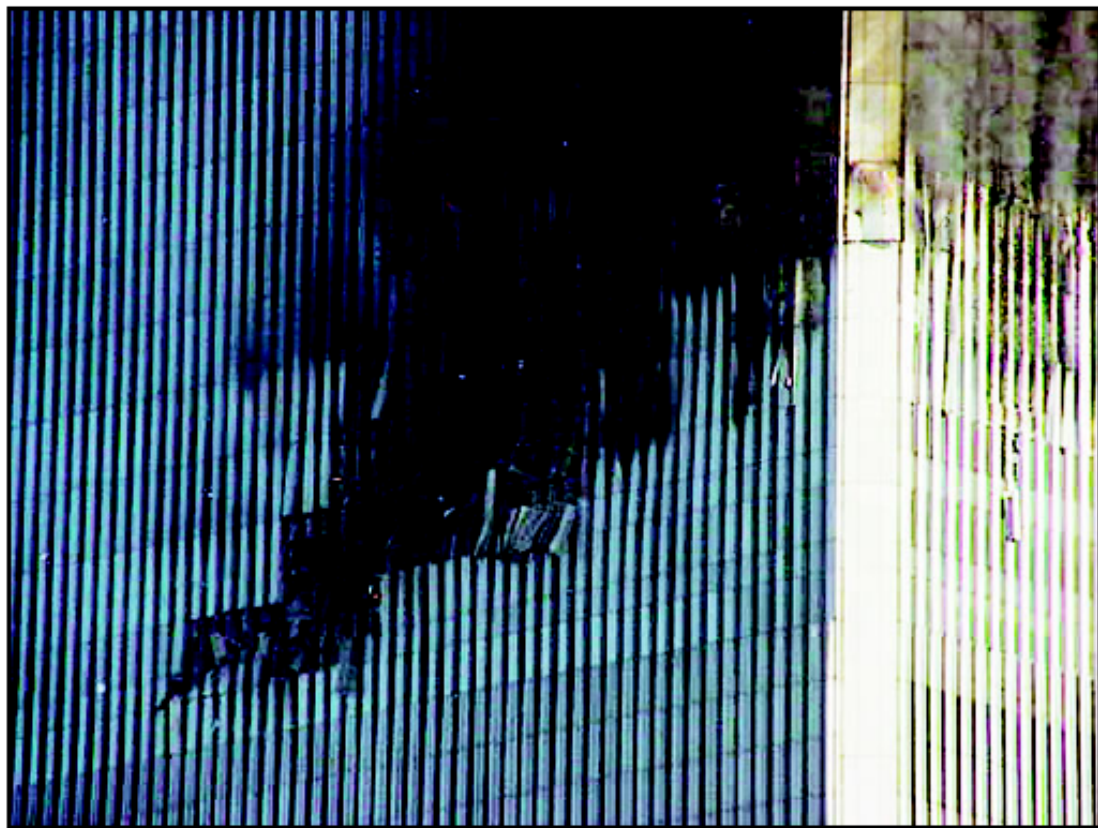
Požární úniková schodiště



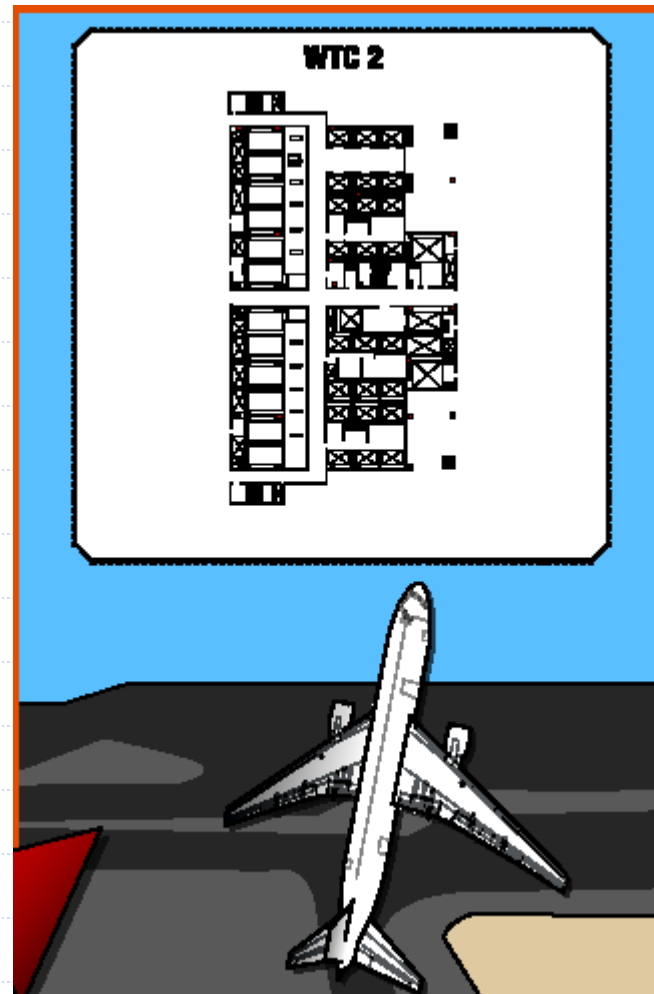
Popis škody svědkem na 91 podlaží WTC 1

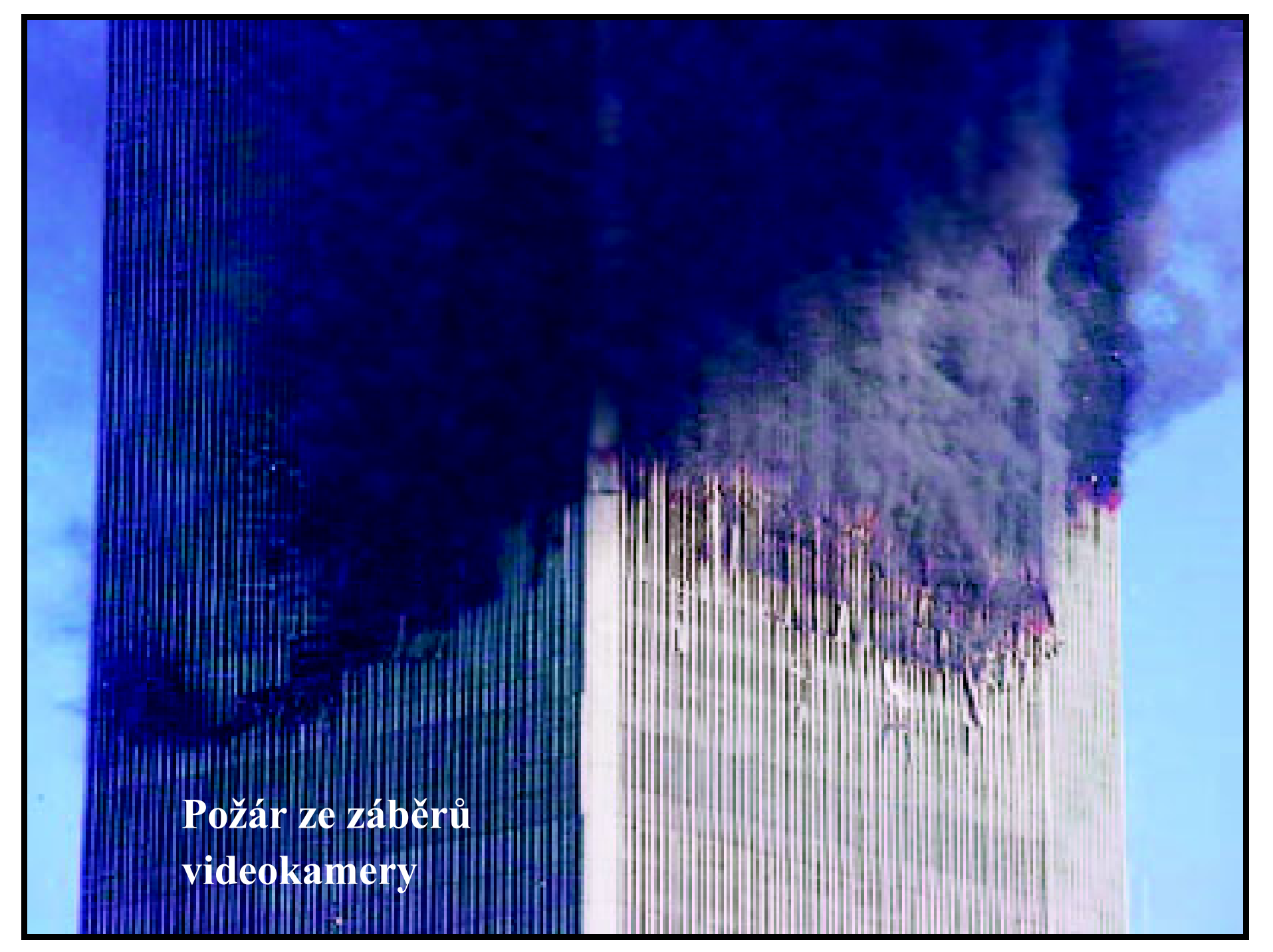


WTC 2

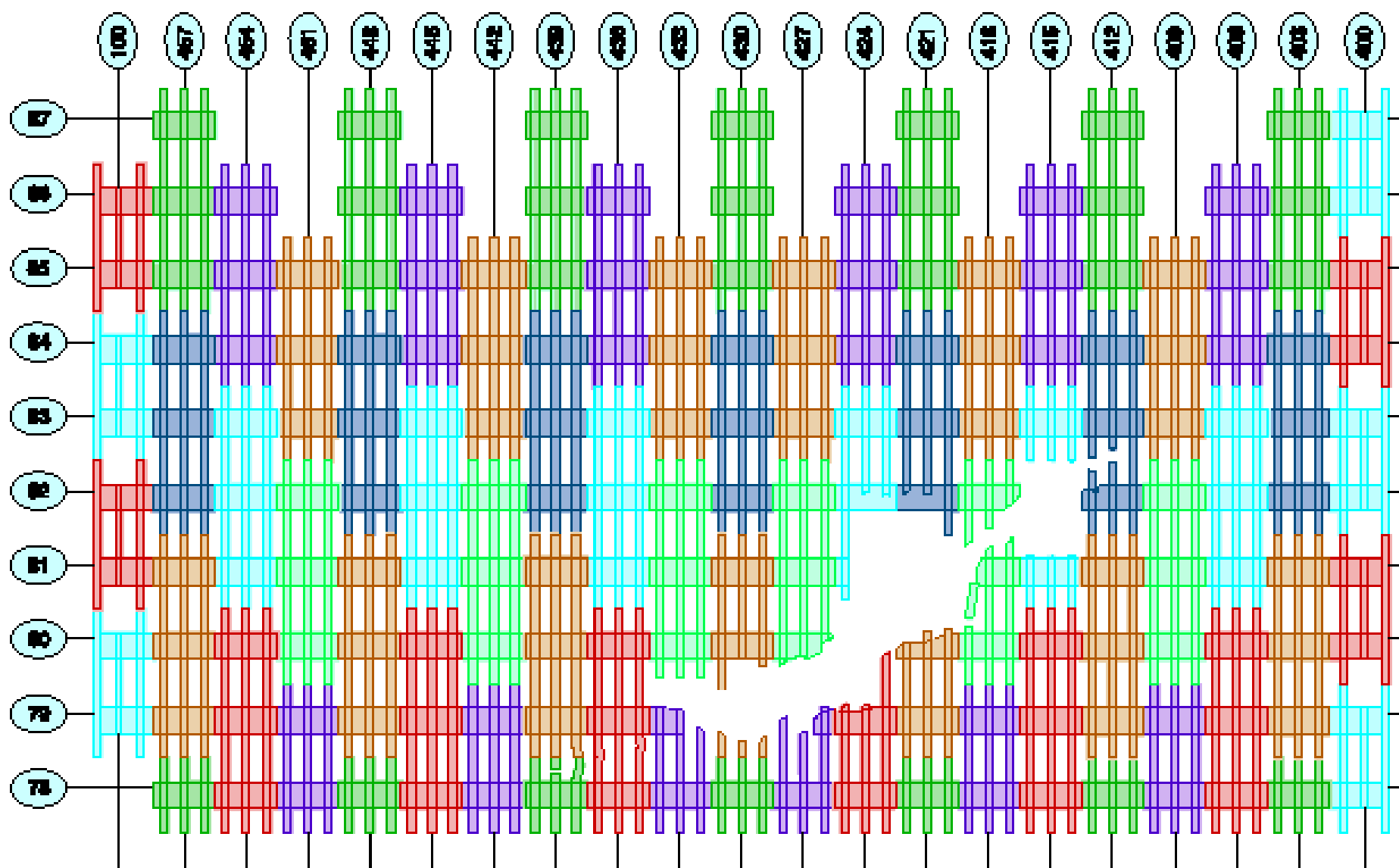


Porušení sloupů na záběru videokamery



A photograph showing a large industrial fire. Thick, dark black smoke billows upwards from a structure, filling a significant portion of the sky. The fire itself is visible at the base of the smoke, with bright orange and yellow flames. The background is a clear, pale blue sky. The image has a slightly grainy, high-contrast quality.

**Požár ze záběrů
videokamery**



Porušení sloupů na pohledu, montážní sestava

Progresivní kolaps WTC 2 pravděpodobně ve fázi ohřívání

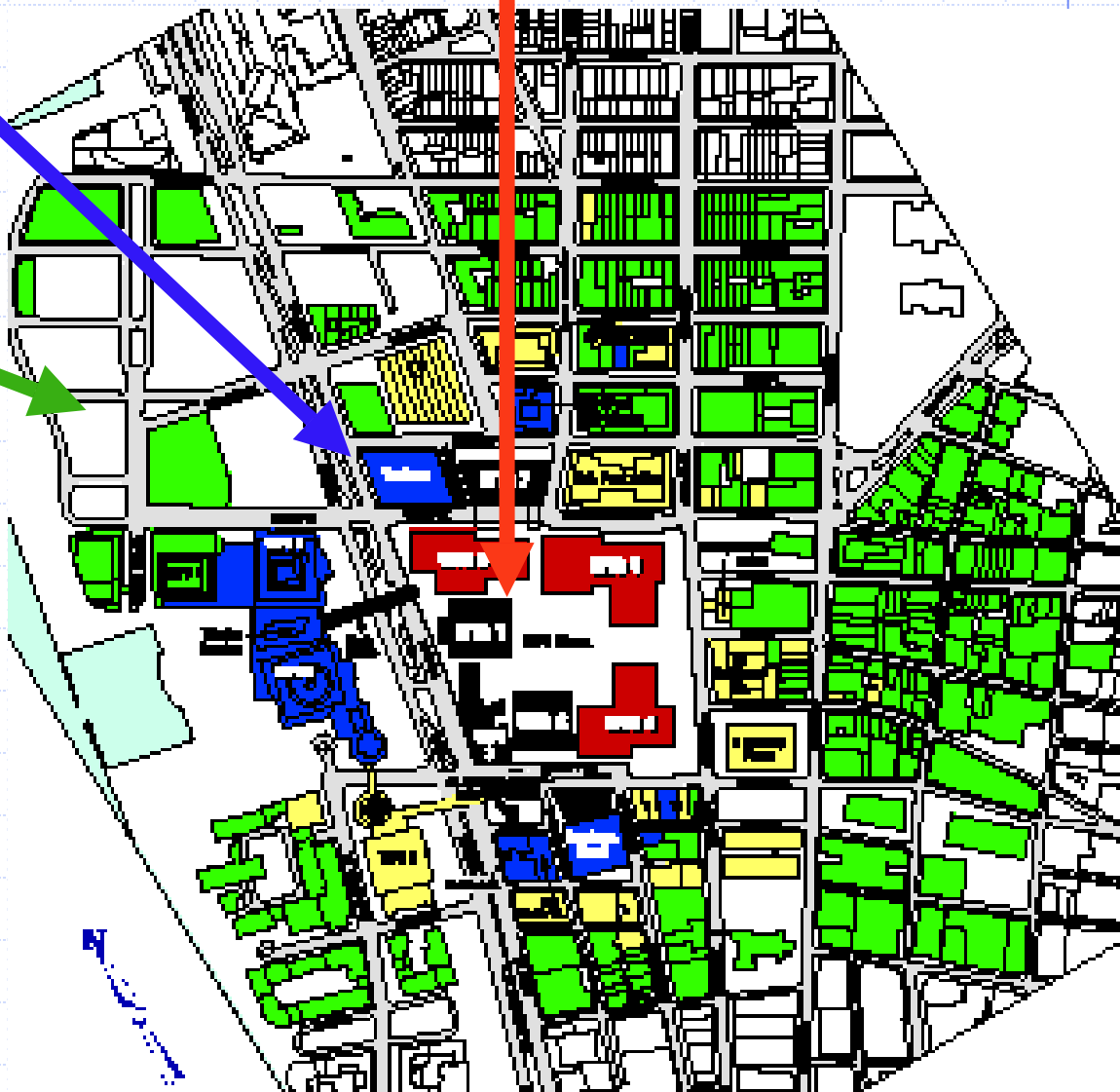


PHOTO

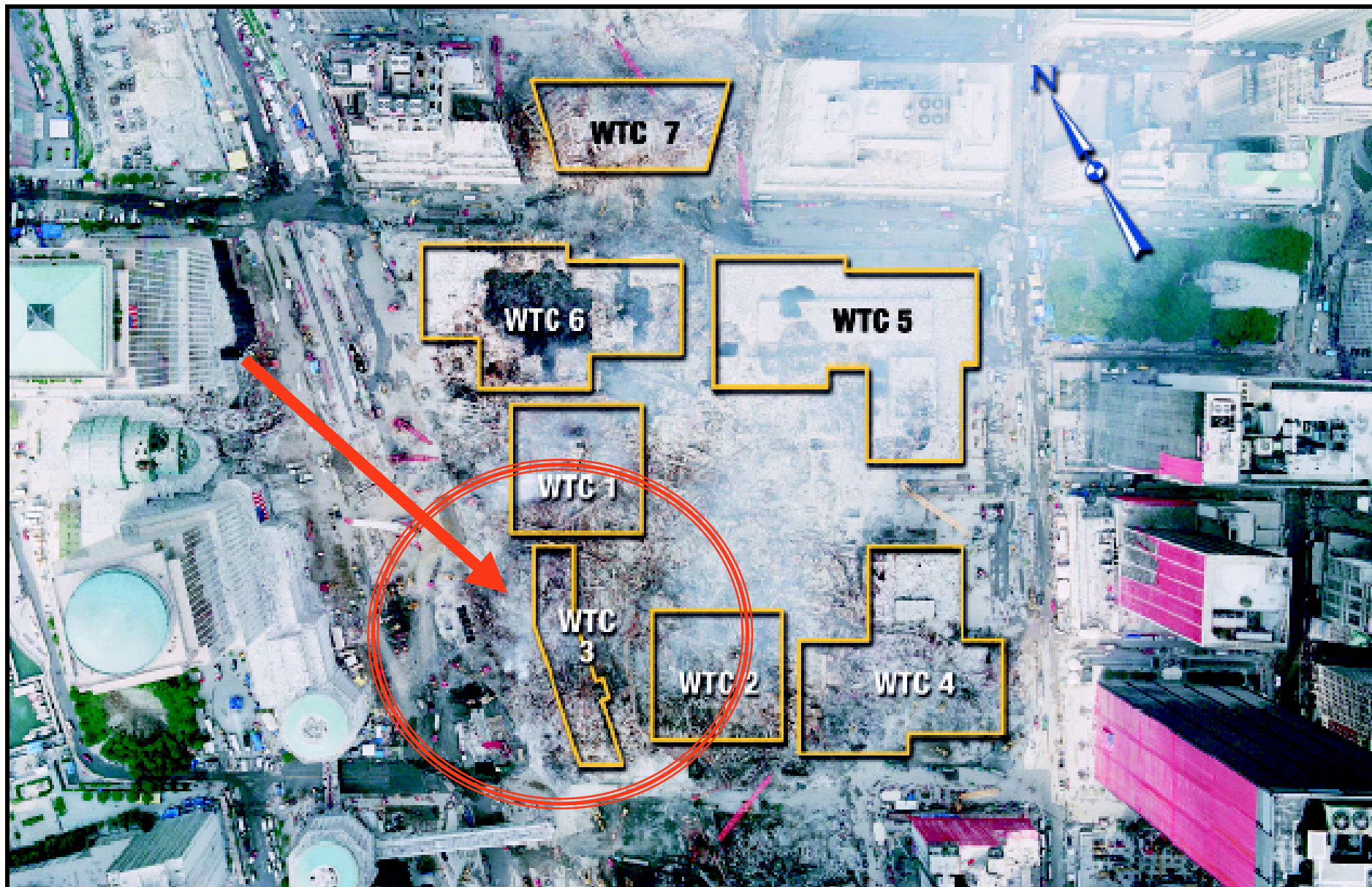
Kromě WTC 1 a WTC 2 havarovalo 13 objektů



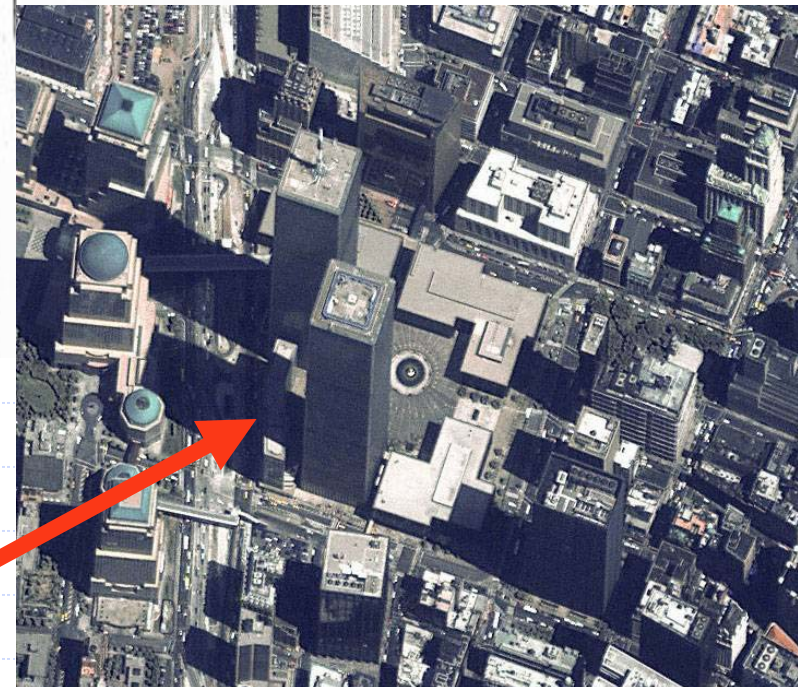
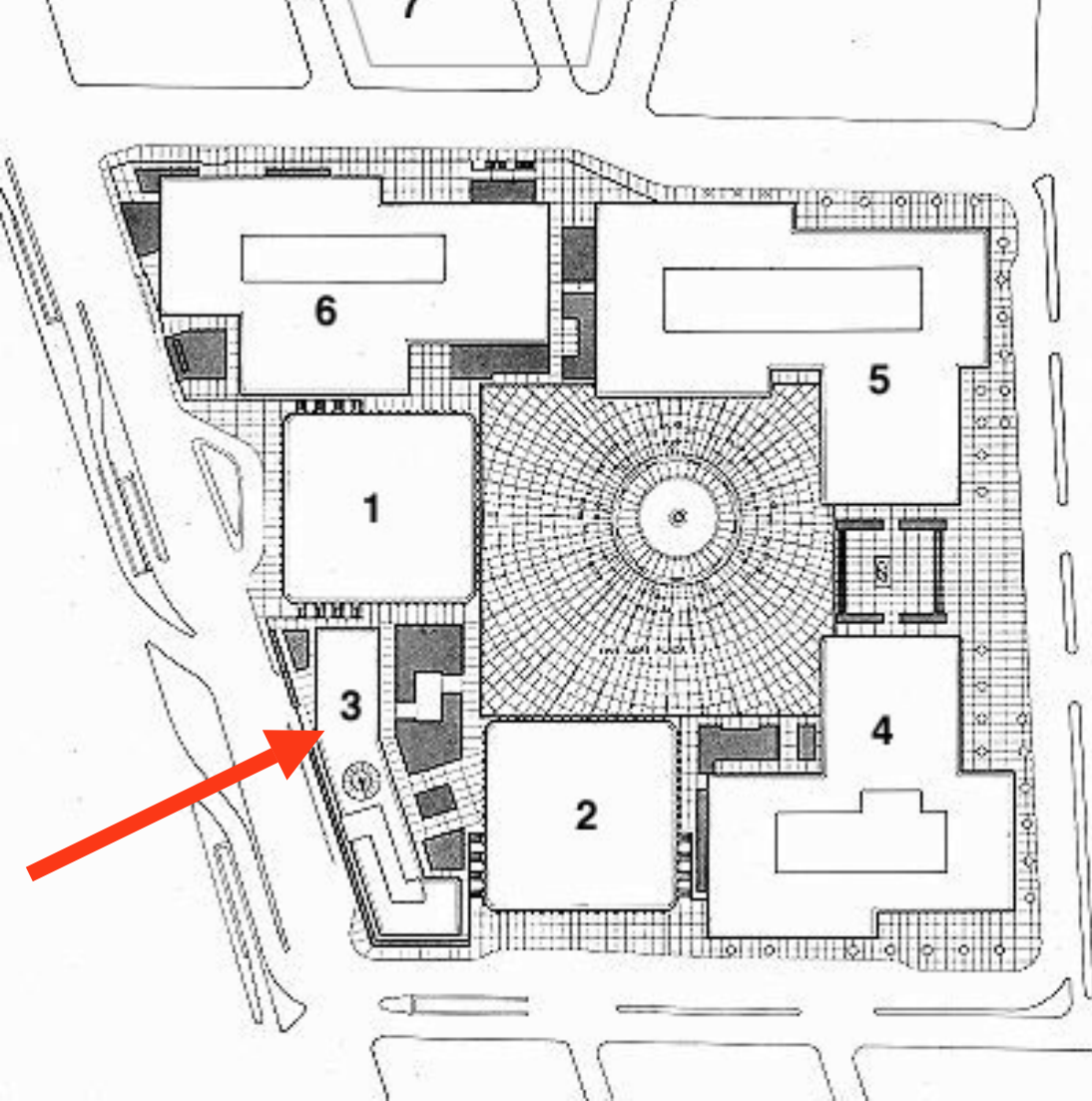
poškozeno cca 50



WTC 3 Příklad úspěšného návrhu



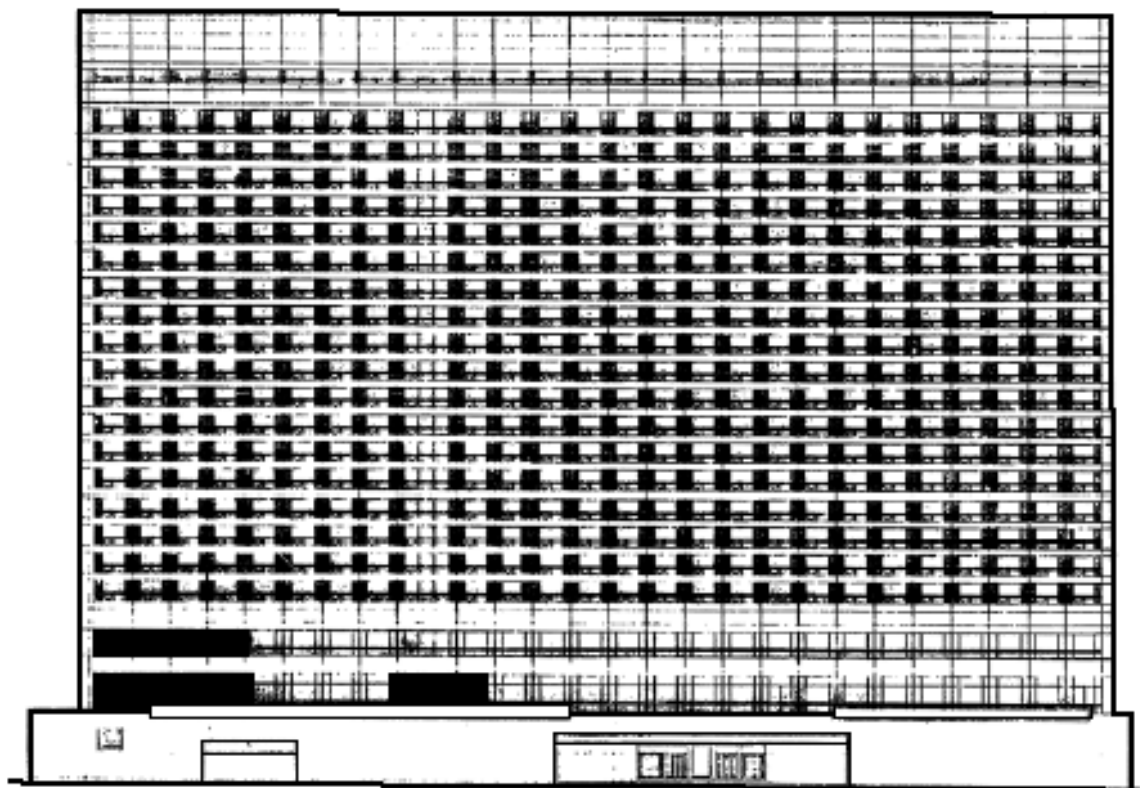
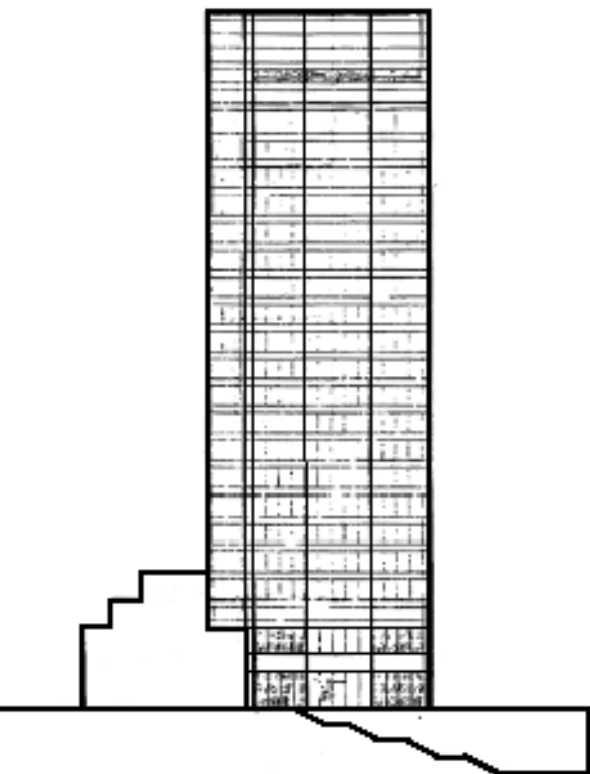
- 1 WTC - North Tower - 110 Floors
- 2 WTC - South Tower - 110 Floors
- 3 WTC - Hotel - 22 Floors
- 4 WTC - South Plaza Bldg - 9 Floors
- 5 WTC - North Plaza Bldg - 9 Floors
- 6 WTC - US Customs House
- 7 WTC - 47 Floors



WTC 3 (22 podlažní Mariott Hotel)



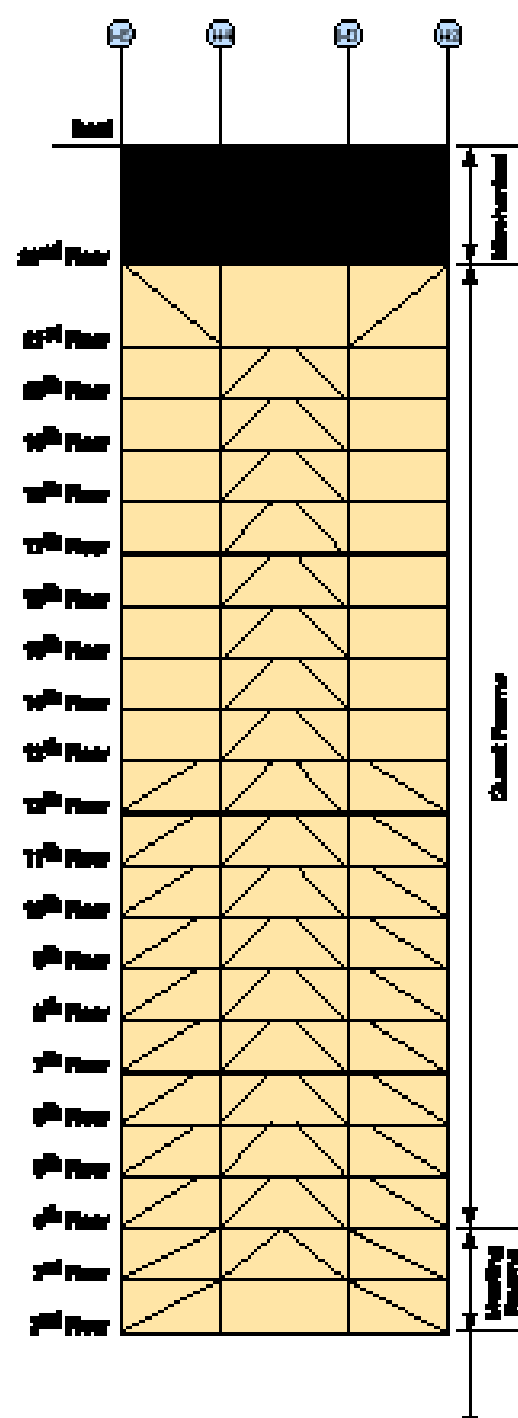
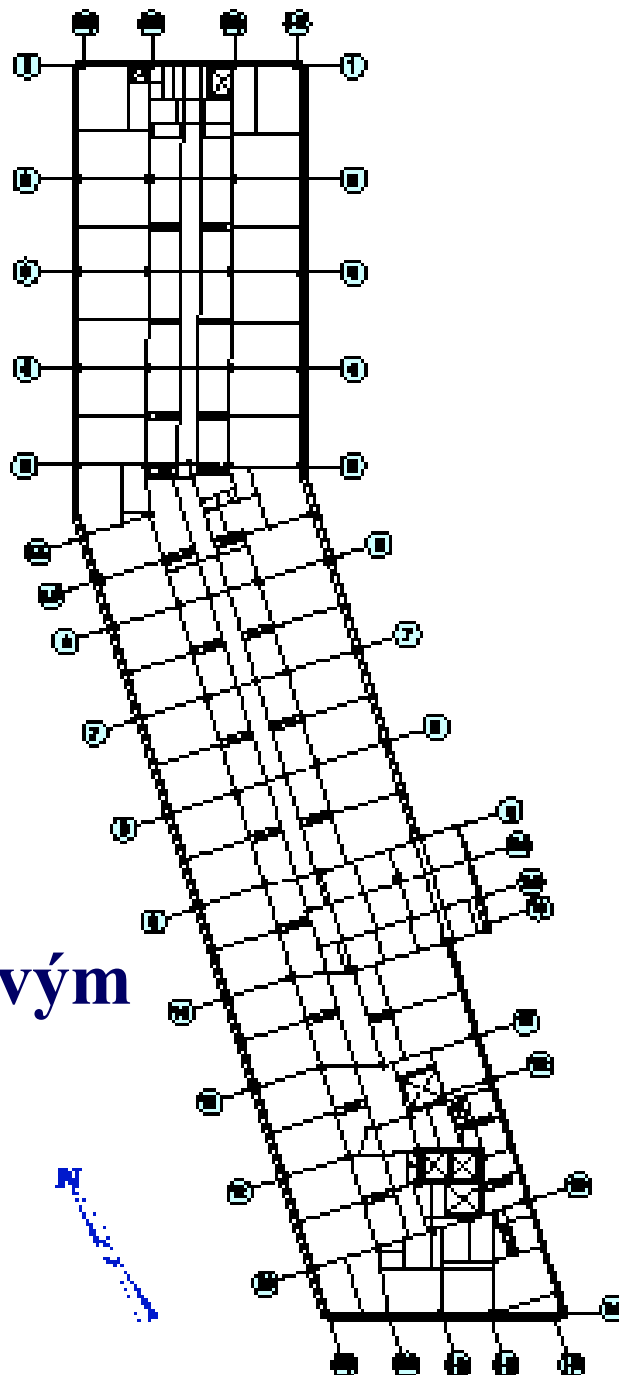
postižen požárem po pádu horní části WTC 2



Pohledy na objekt

WTC 3

Půdorys a řez příhradovým ztužidlem



Pád WTC 2 na WTC 3

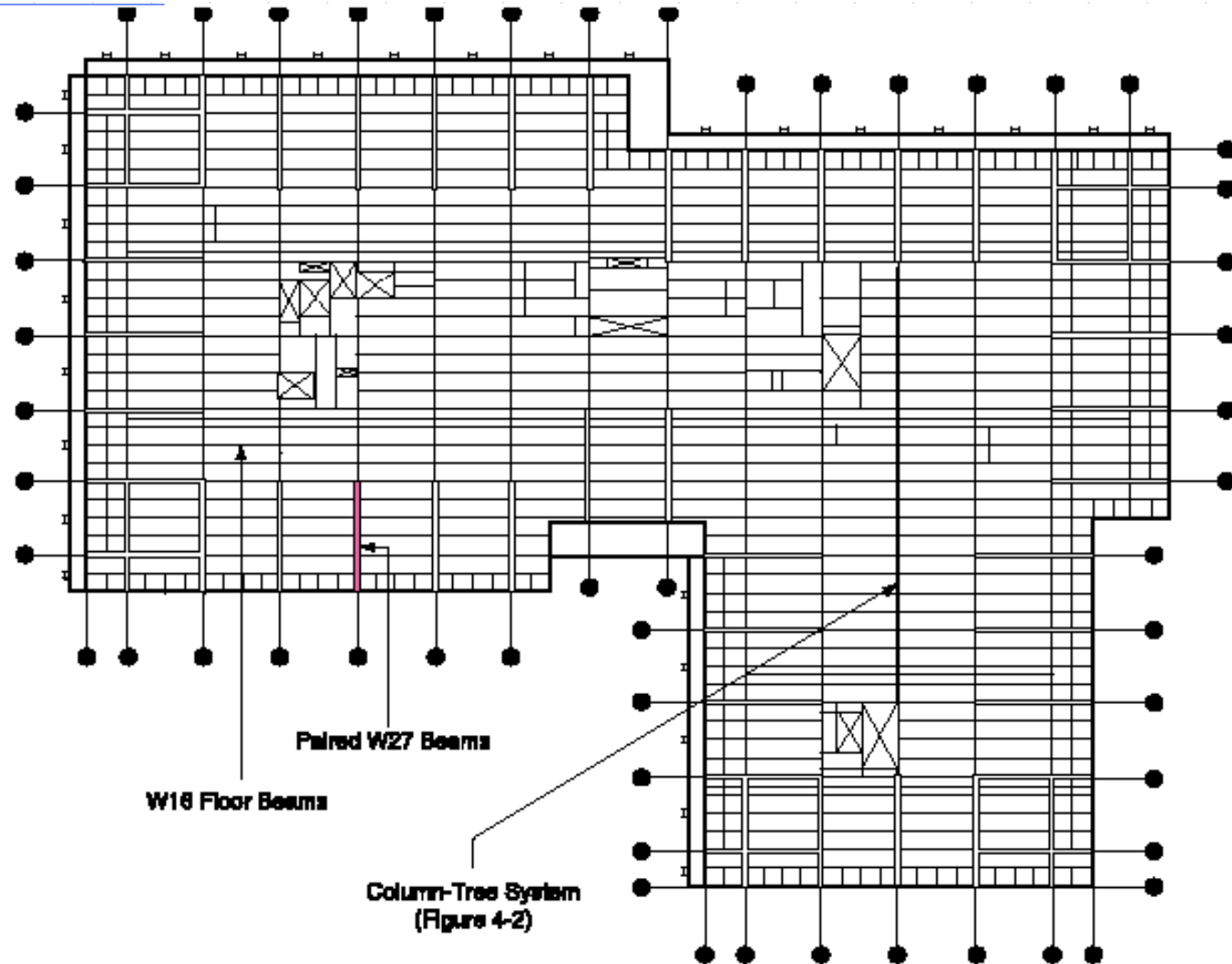


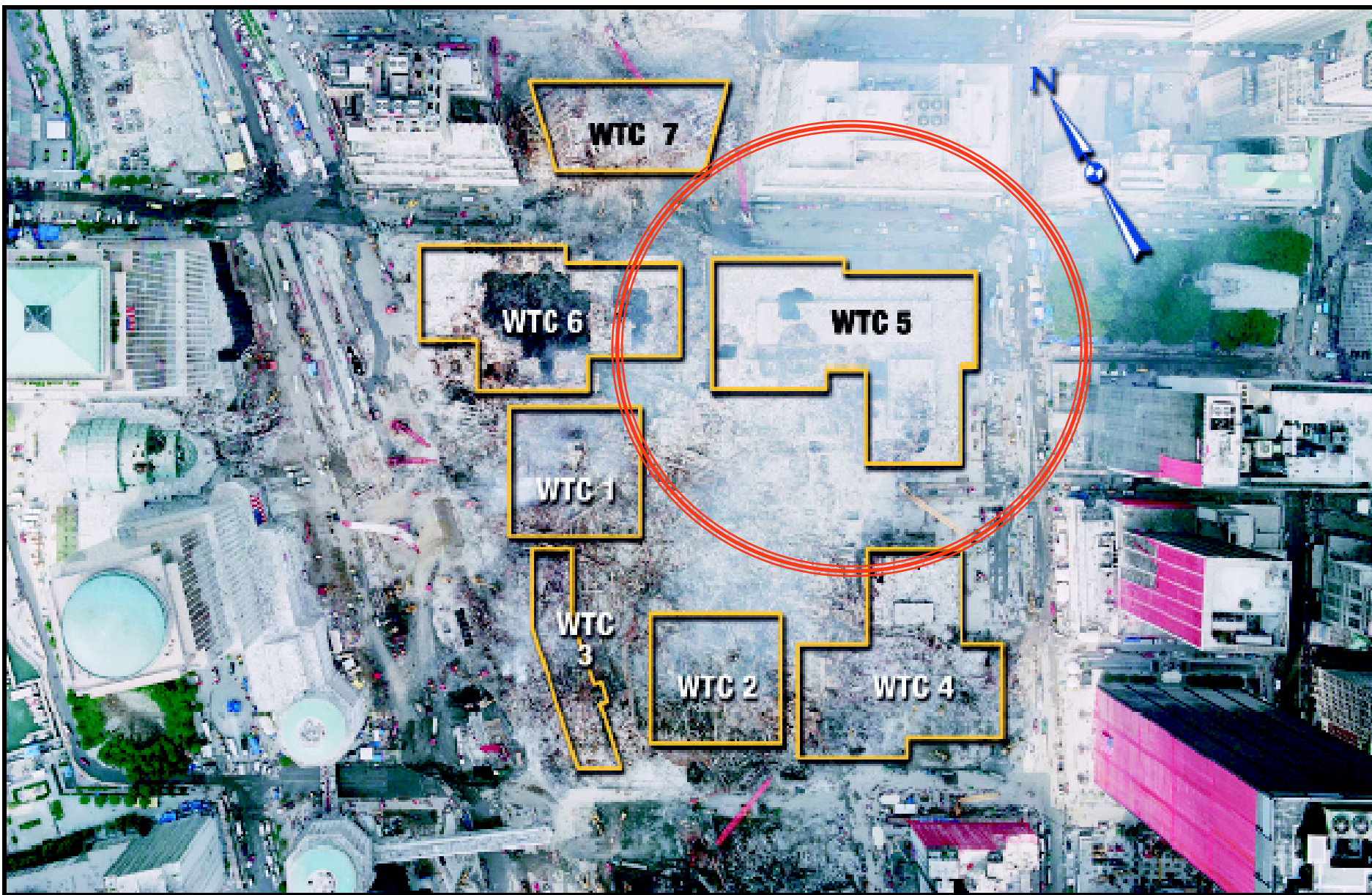


Ne progresivní kolaps – konce a první dvě podlaží zůstaly



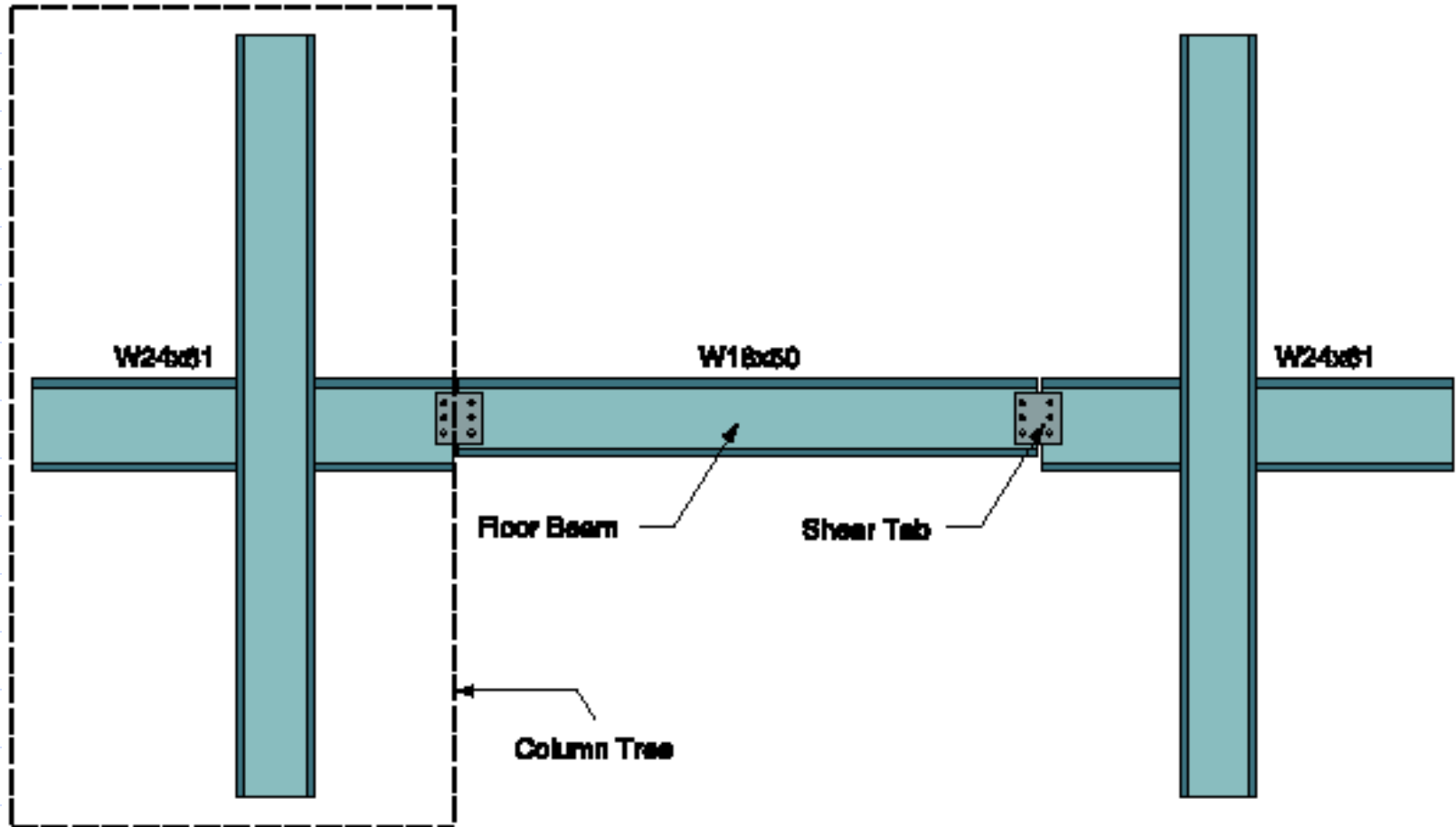
WTC 5 Příklad méně úspěšného návrhu





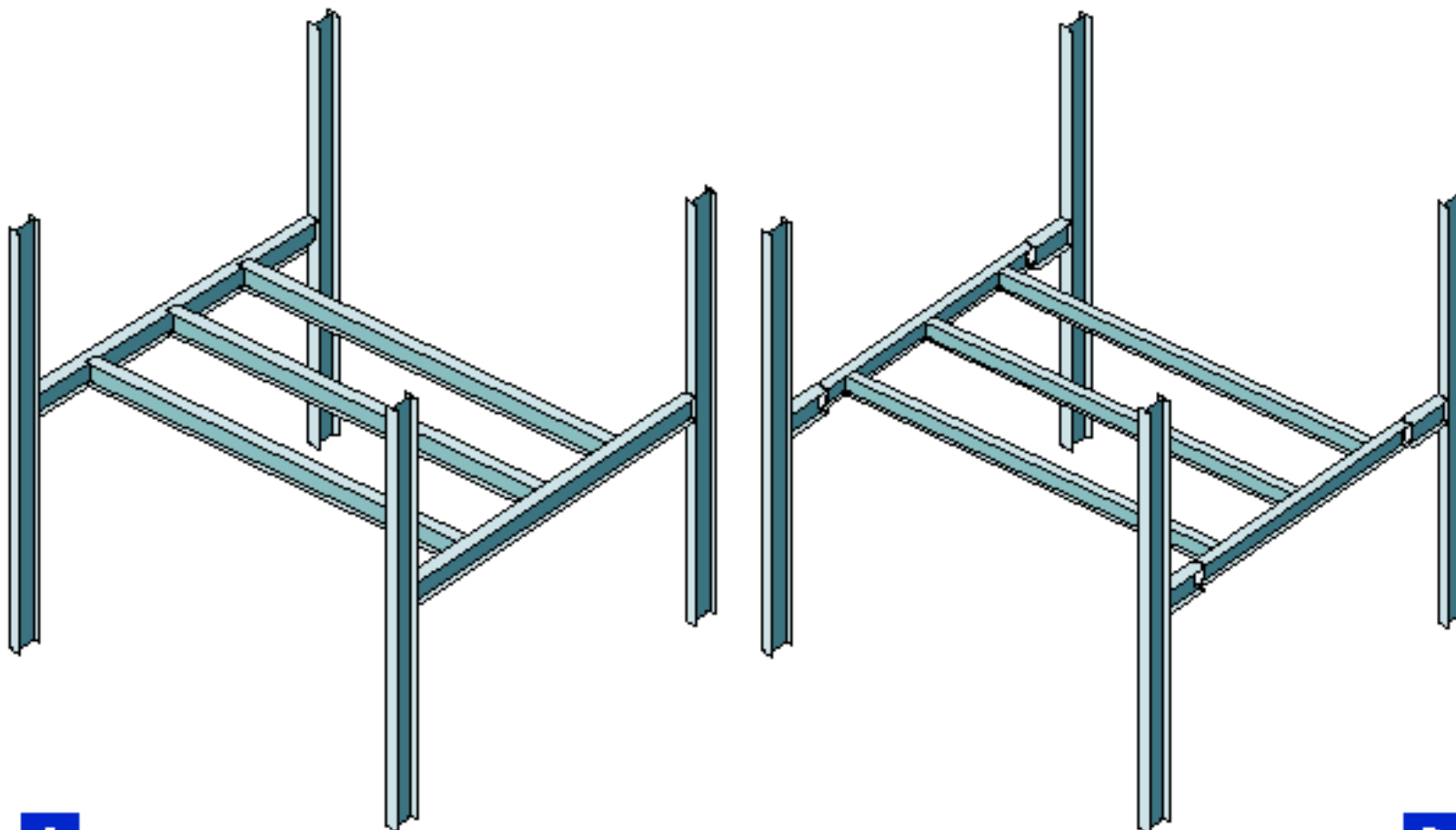


WTC 5 nosný systém





WTC 5 nosný systém





WTC 5 požár

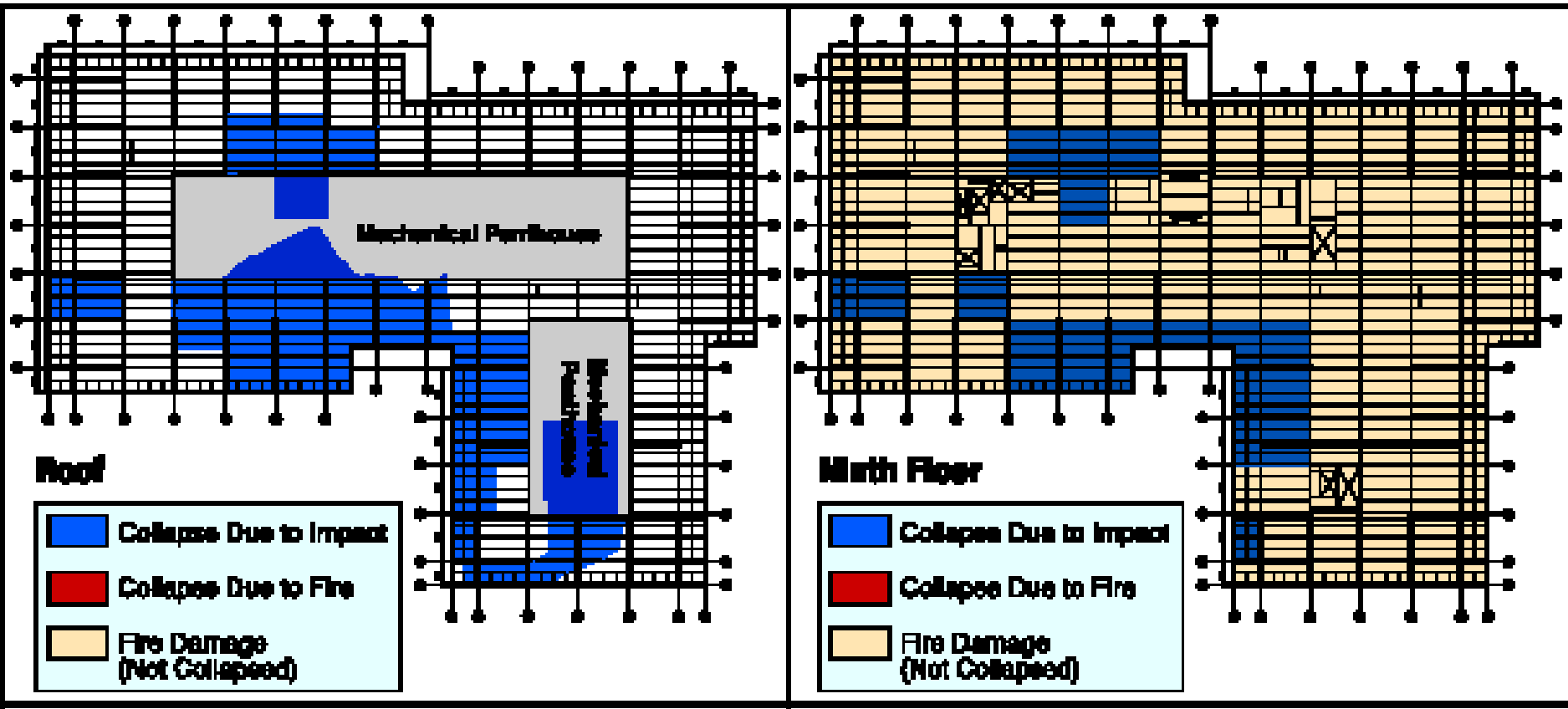


WTC 5 plášť objektu po požáru





WTC 5 poškození

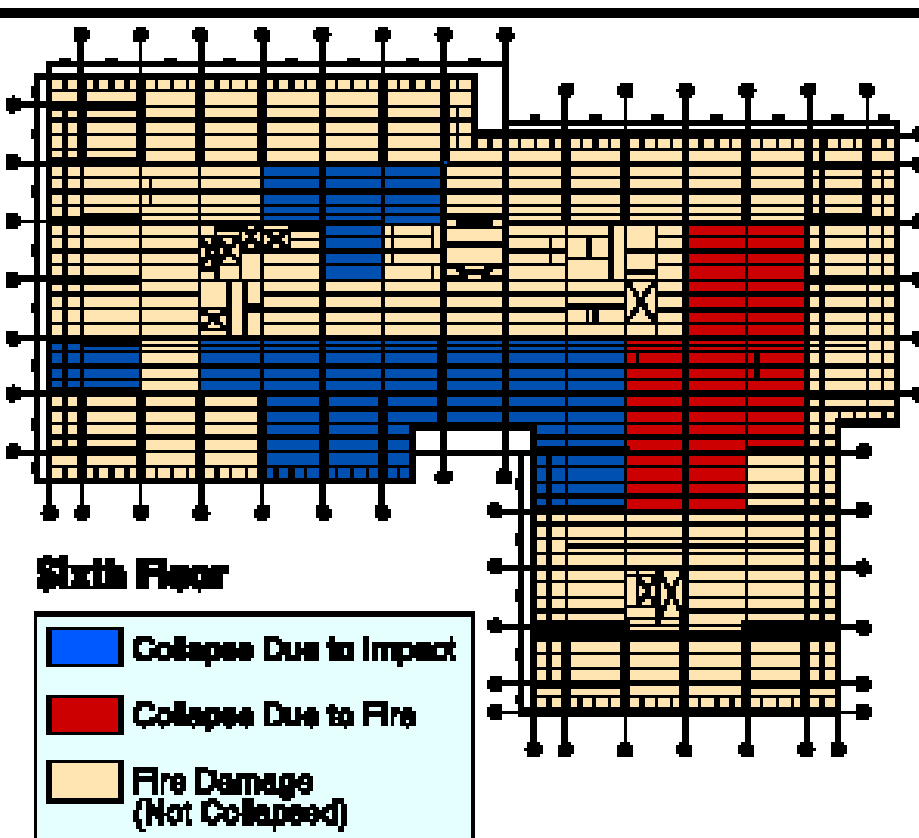


Střecha

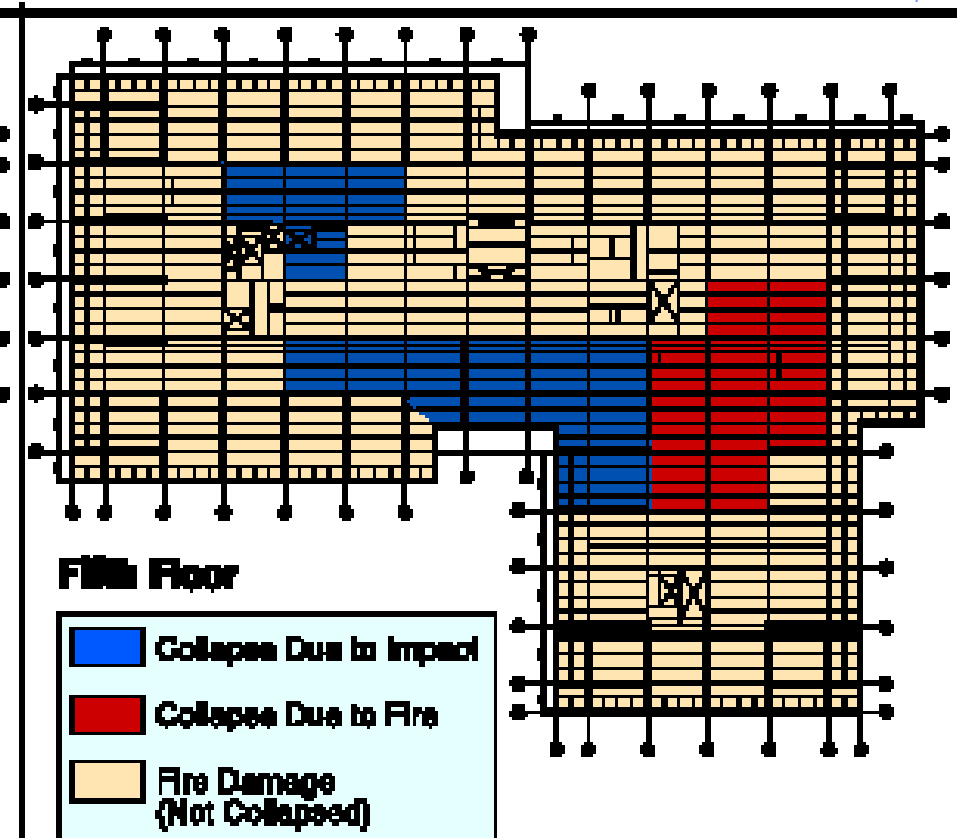
Deváté podlaží



WTC 5 poškození

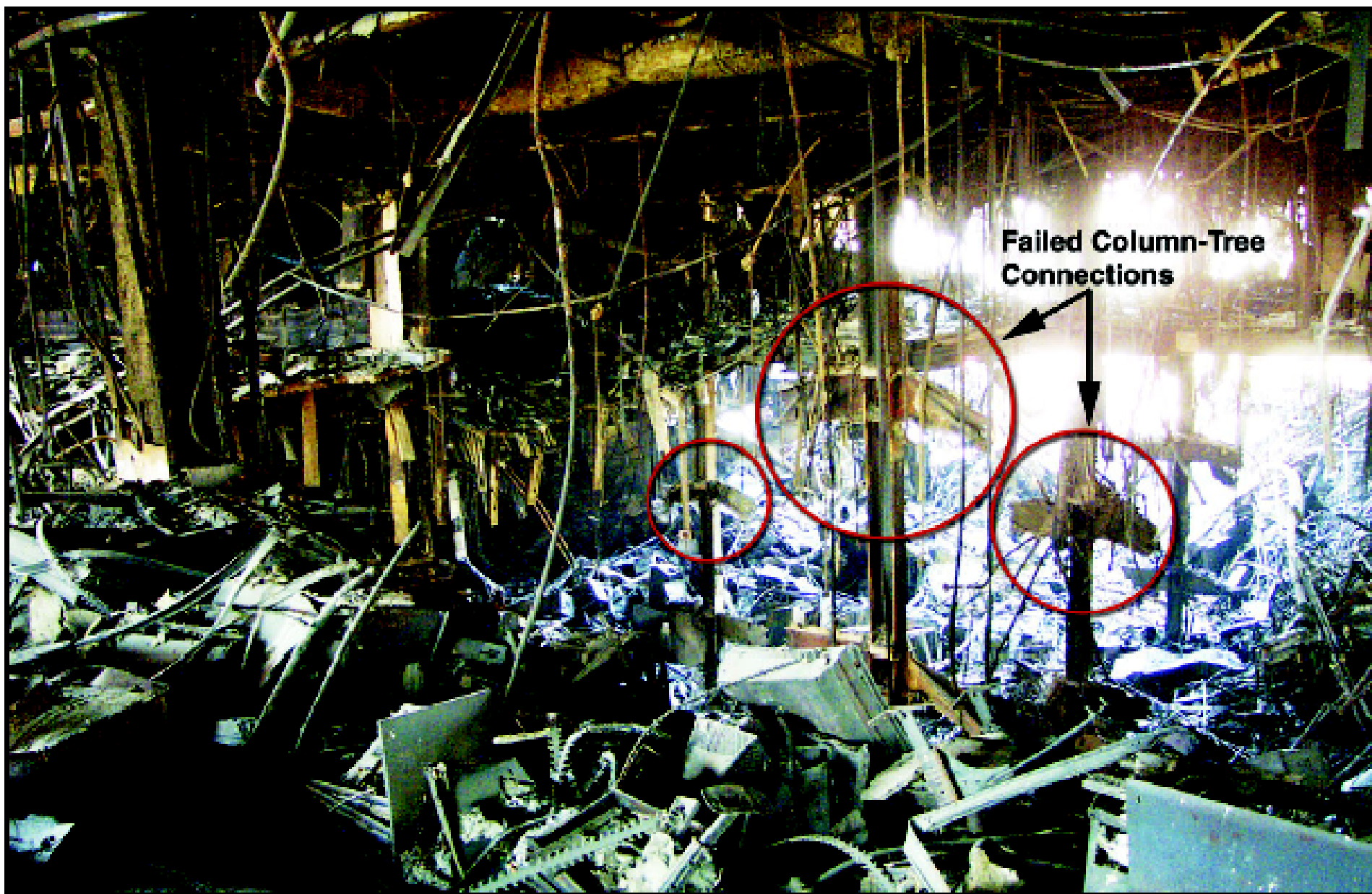


Šesté podlaží



Páté podlaží

WTC 5 vnitřní kolaps – porušení styčnicků

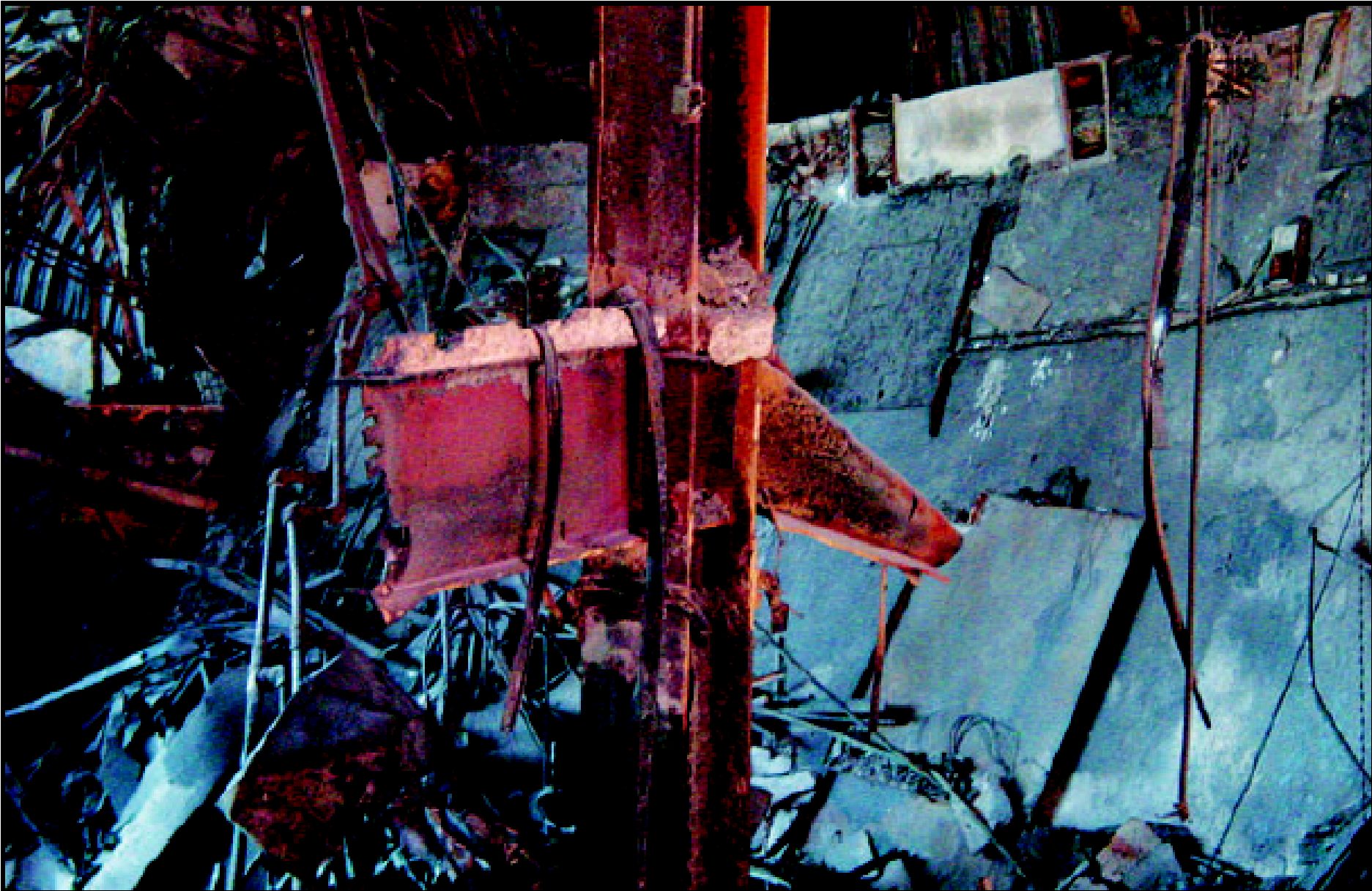


WTC 5

porušení styčnicků



WTC 5 porušení styčnicků



WTC 5

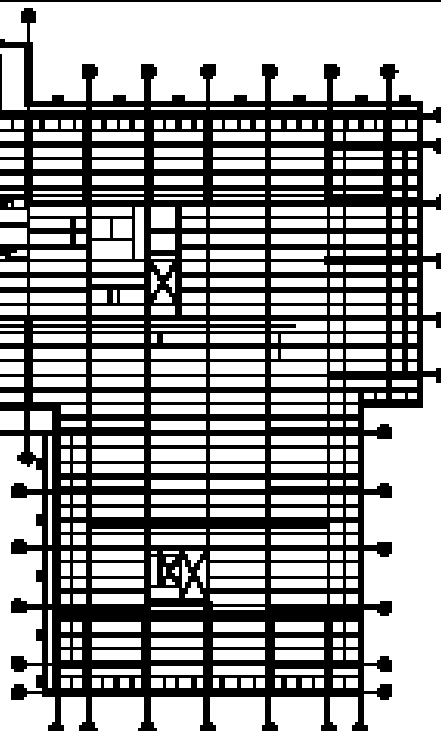
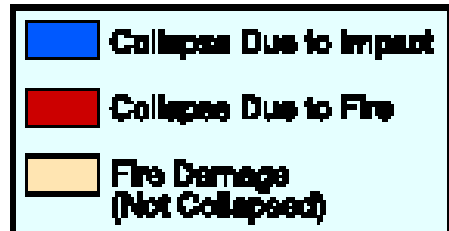
sloup sedmé podlaží



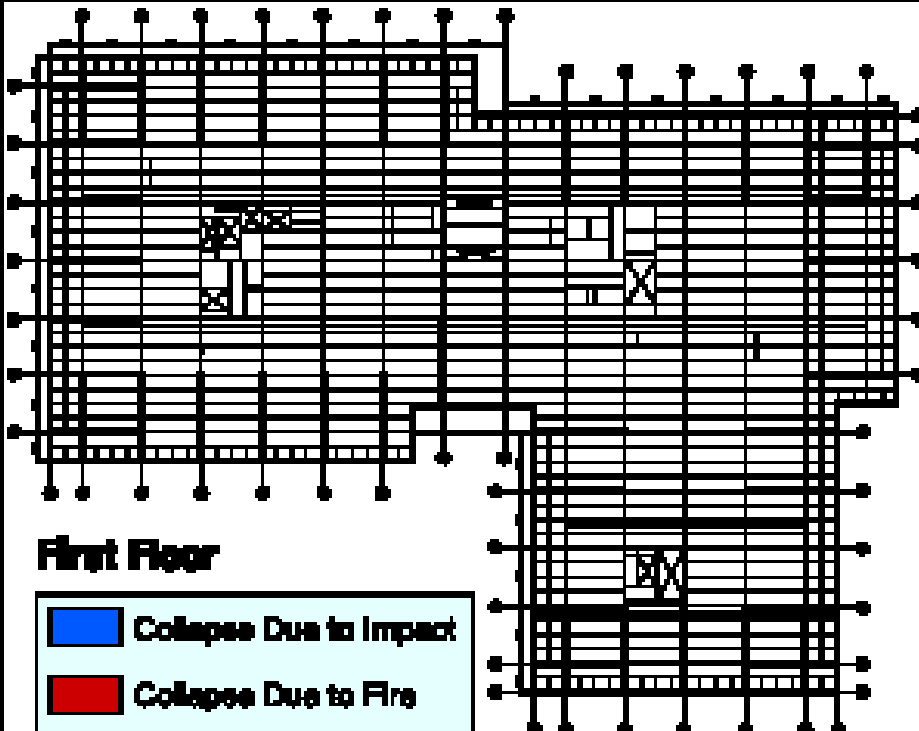
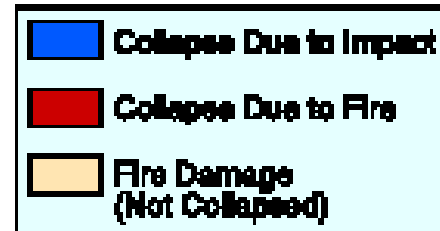


WTC 5 poškození

Second Floor



First Floor



Druhé podlaží

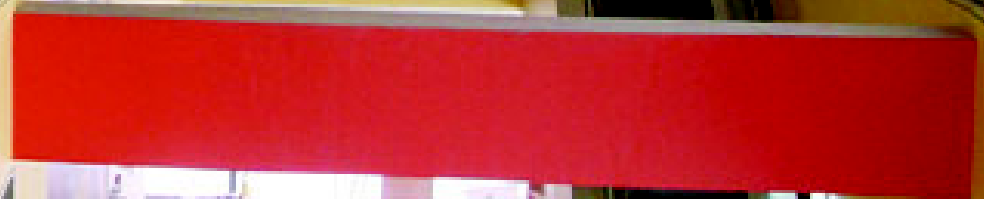
První podlaží

WTC 5 druhé podlaží



3rd Floor

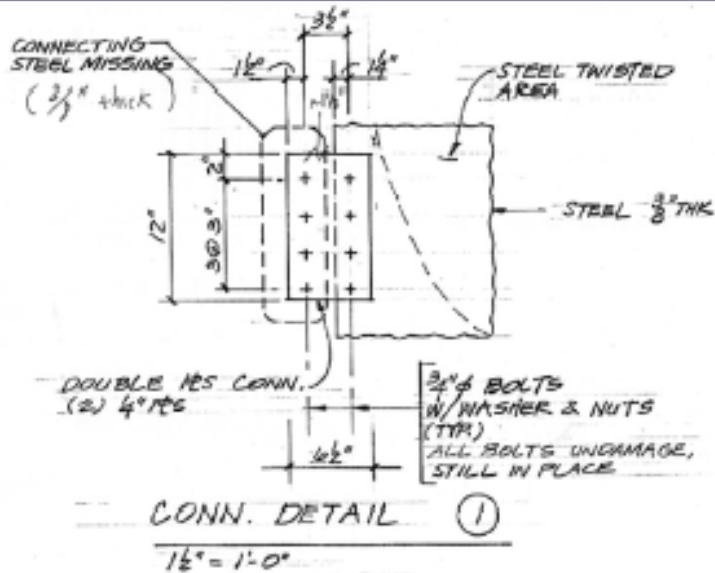
2nd Floor



WTC 5 porušení styčnicků

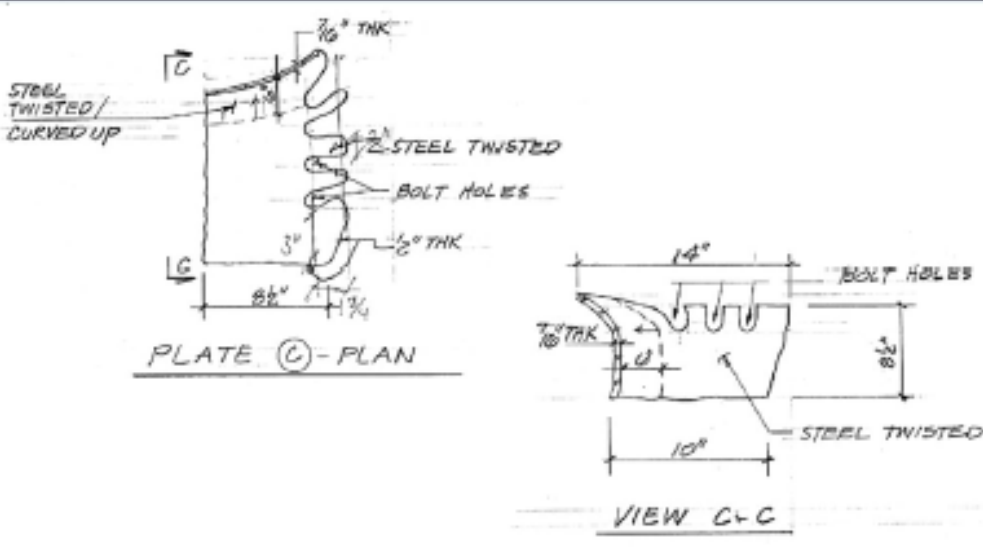
Recovered From: WTC 5, 8th Floor

Failure Mode: Web tear-out at bolts

Recovered Sample	Sketch
	

Recovered From: WTC 5, 7th Floor

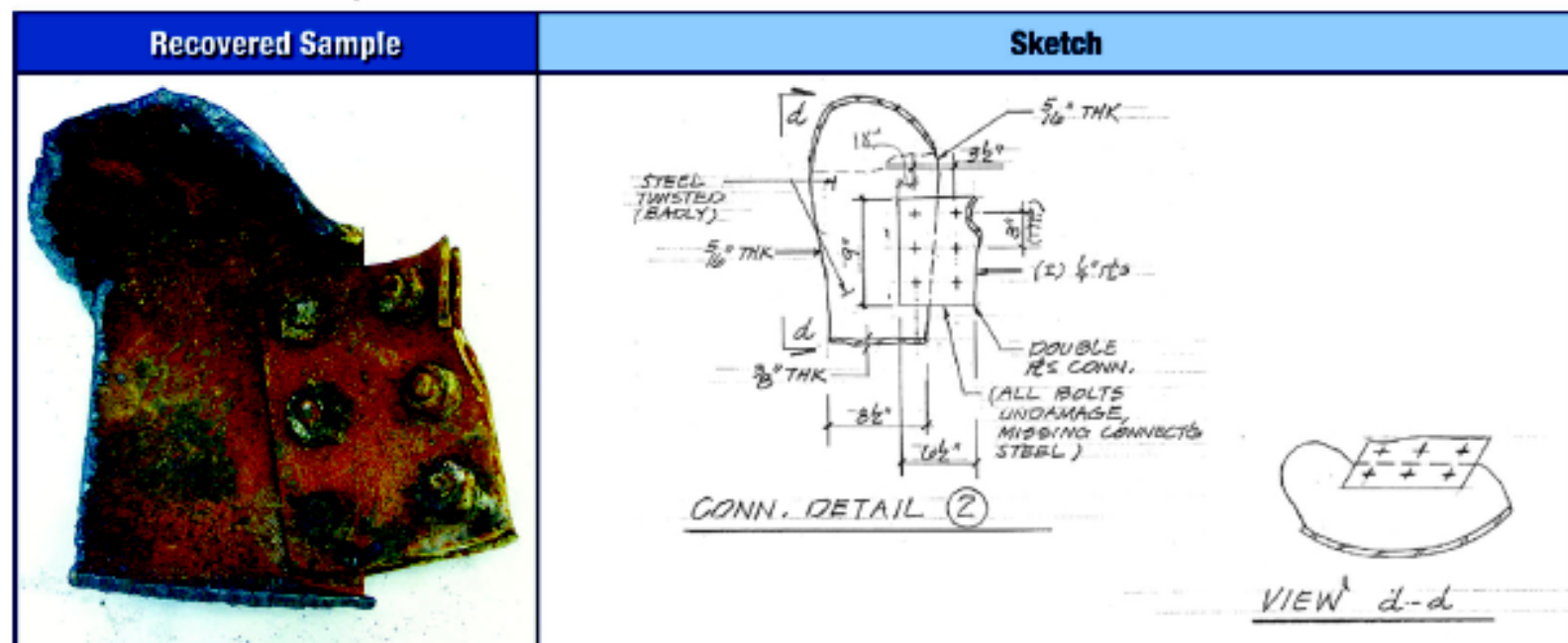
Failure Mode: Web tear-out at bolts

Recovered Sample	Sketch
	

WTC 5 porušení styčnicků

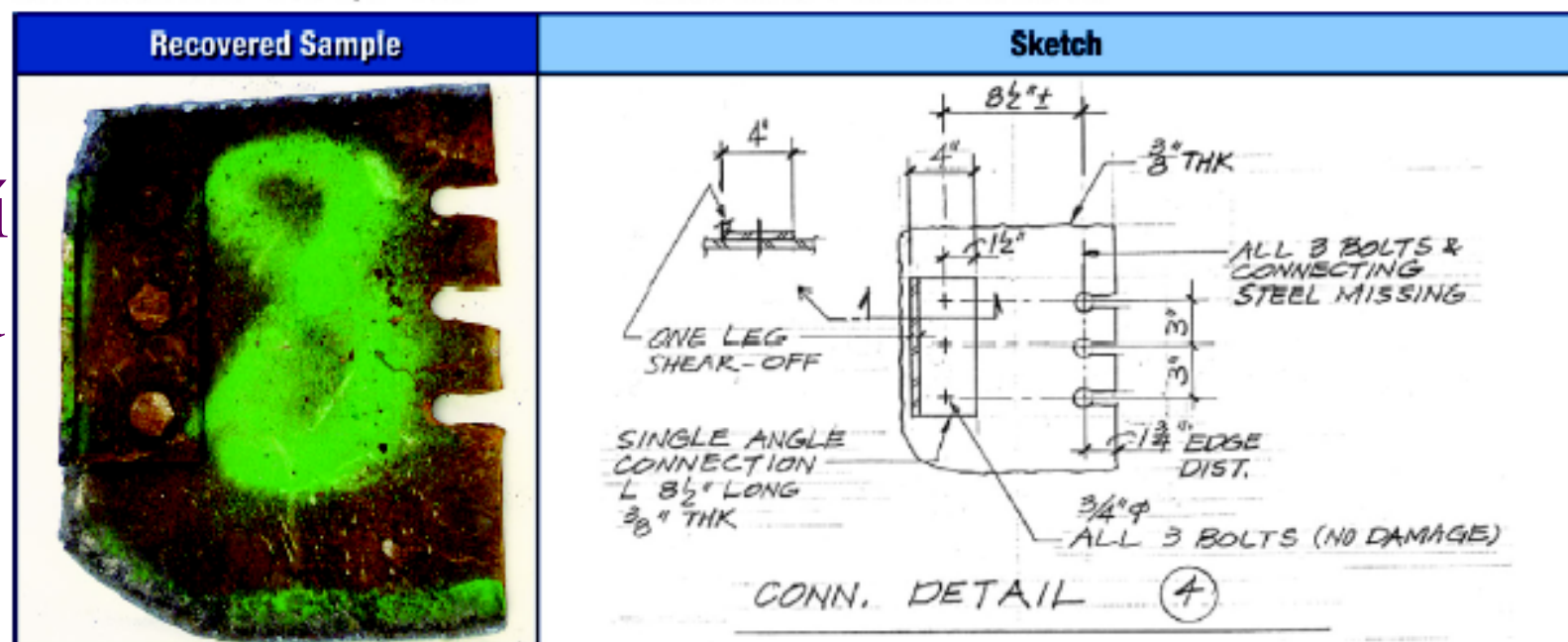
Recovered From: WTC 5, 6th Floor

Failure Mode: Web tear-out at bolts

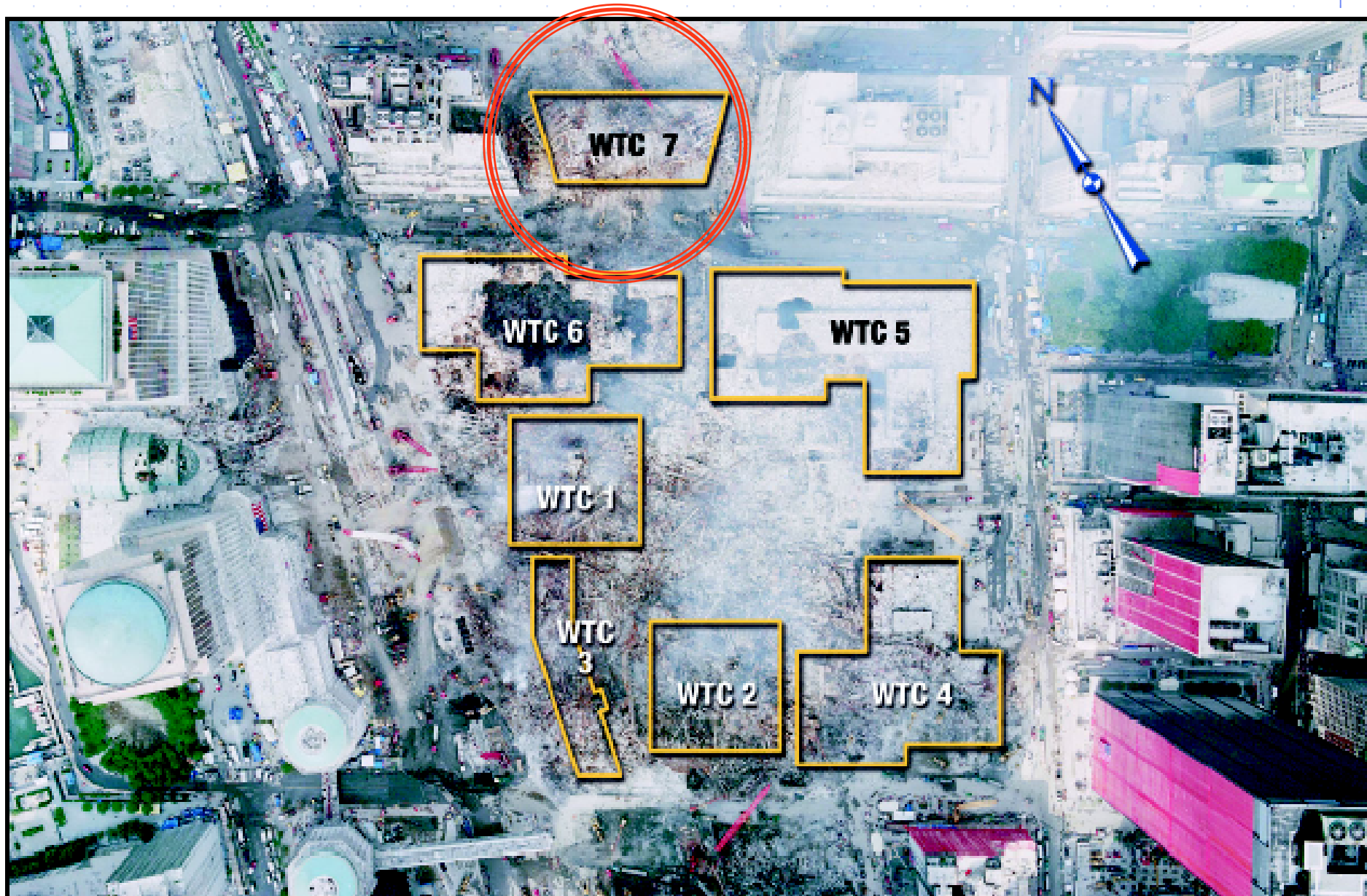


Recovered From: WTC 5, 8th Floor

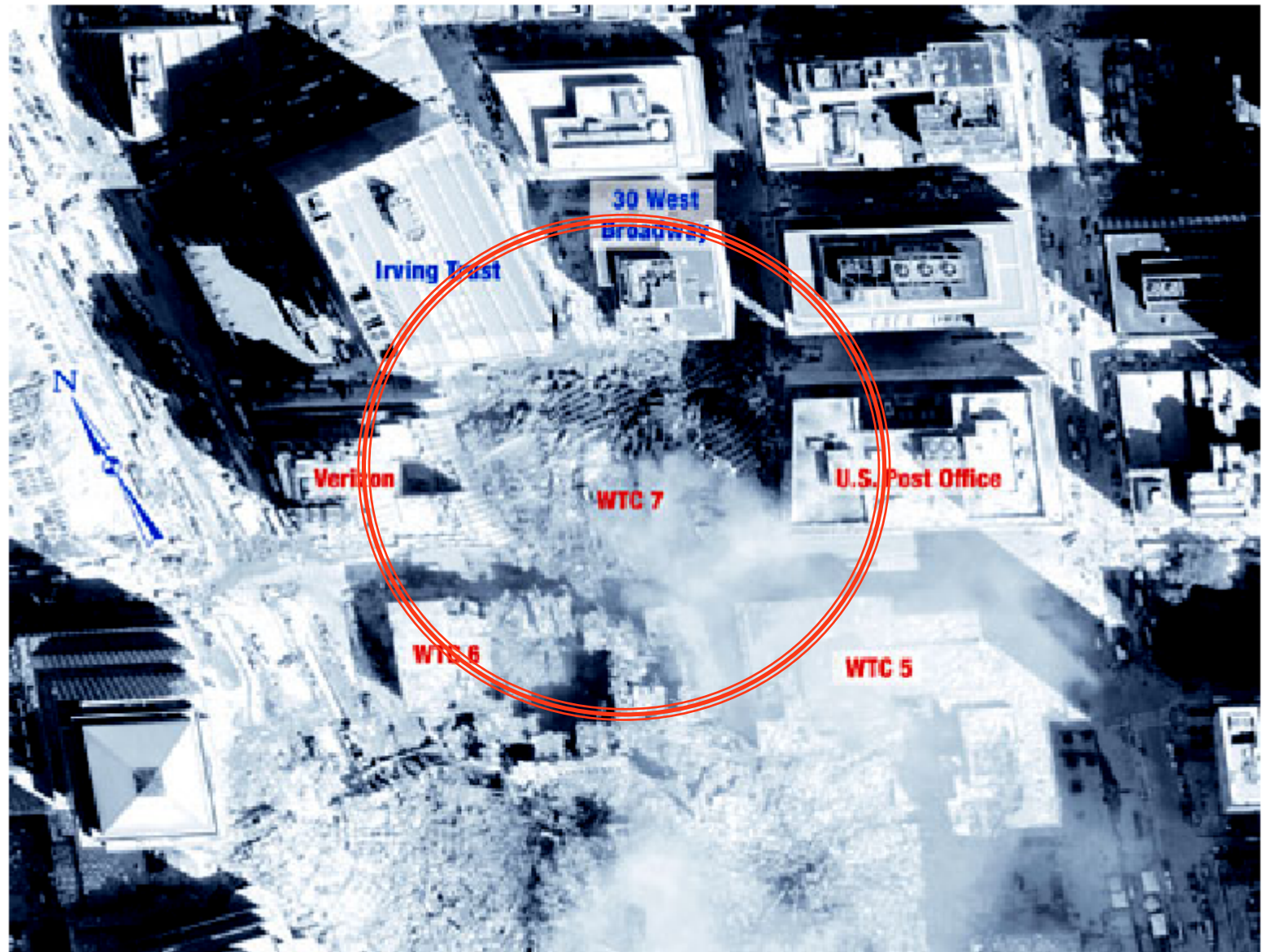
Failure Mode: Plate tear-out at bolts



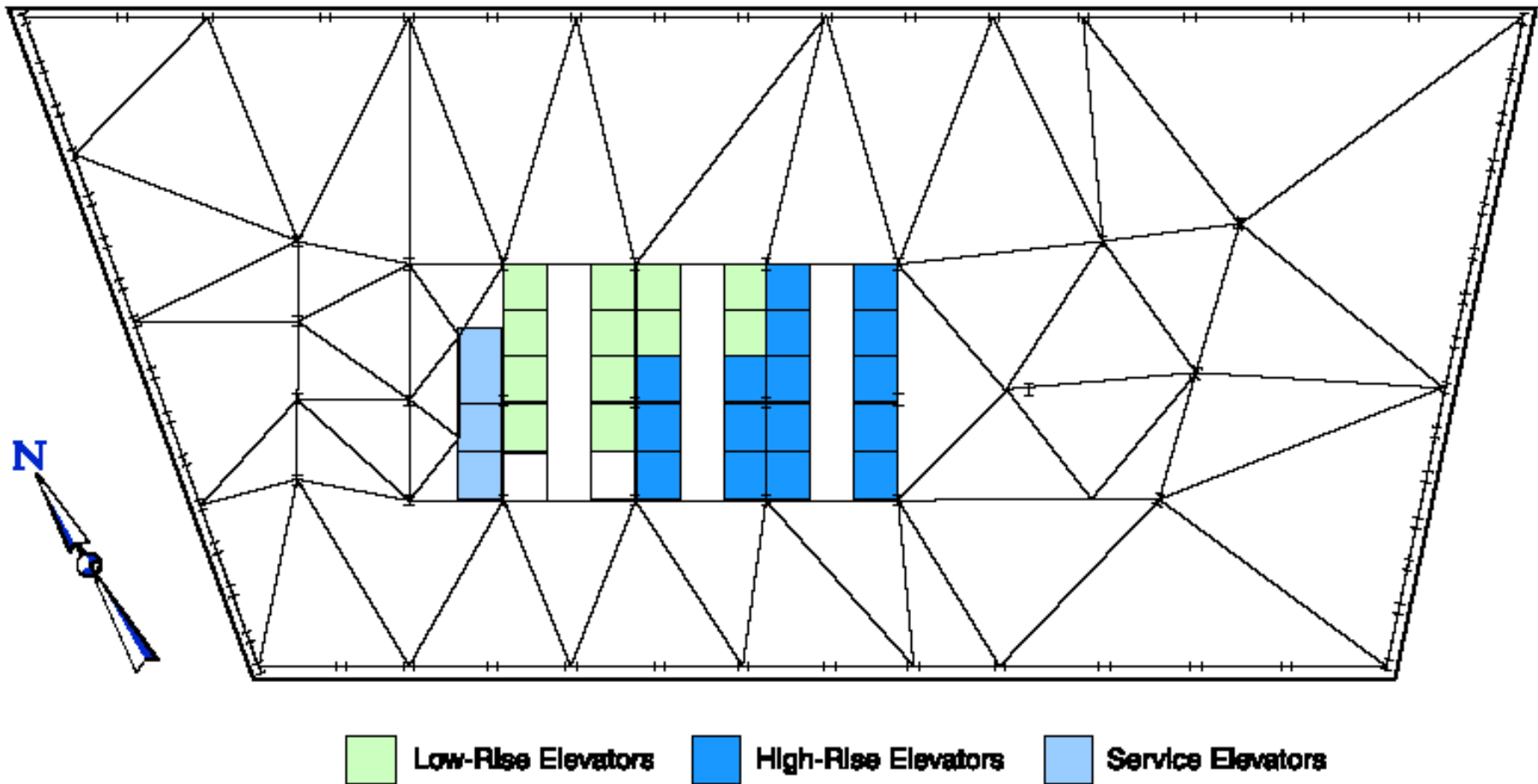
WTC 7 Příklad progresivního kolapsu



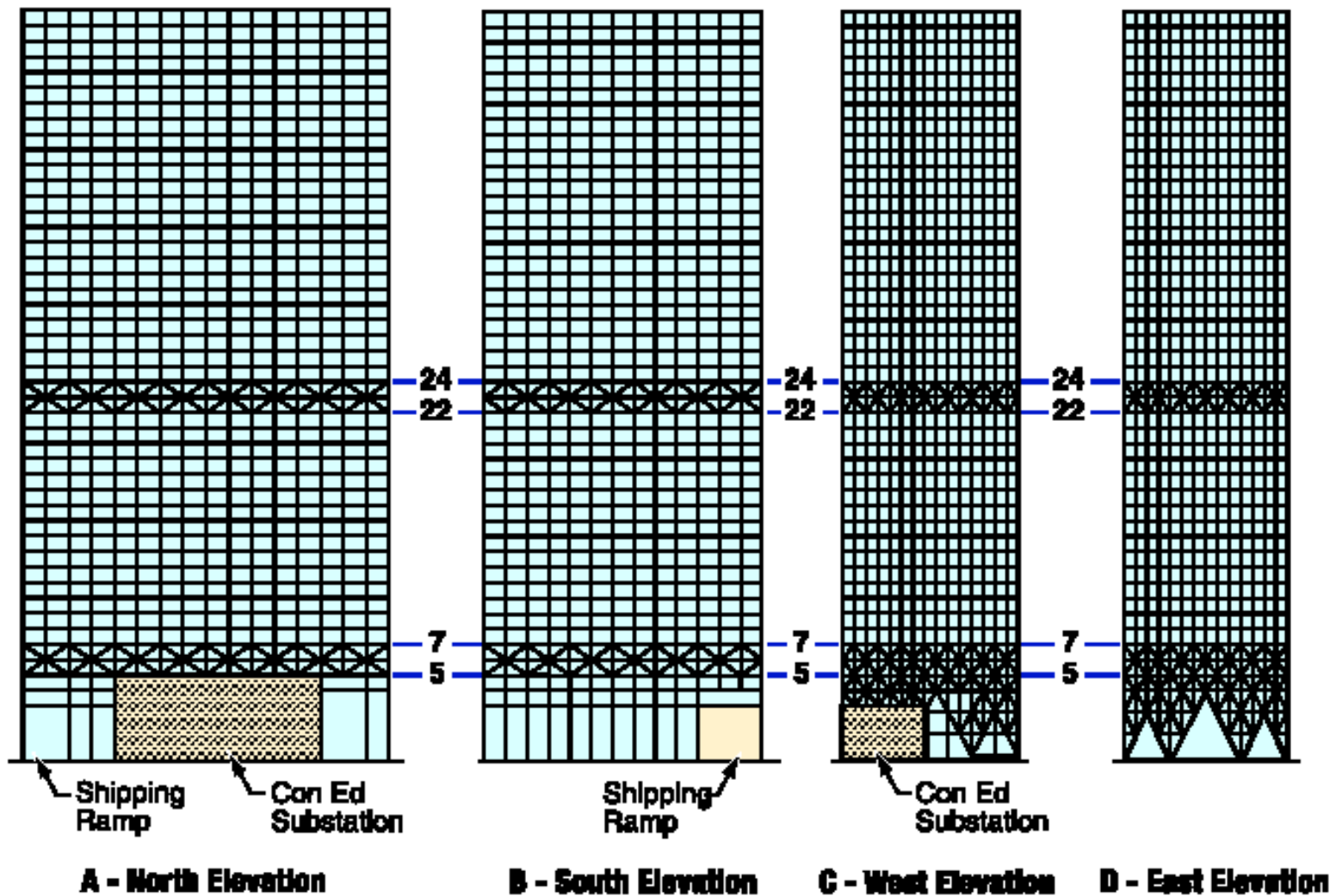
WTC progresivní kolaps v 17:20



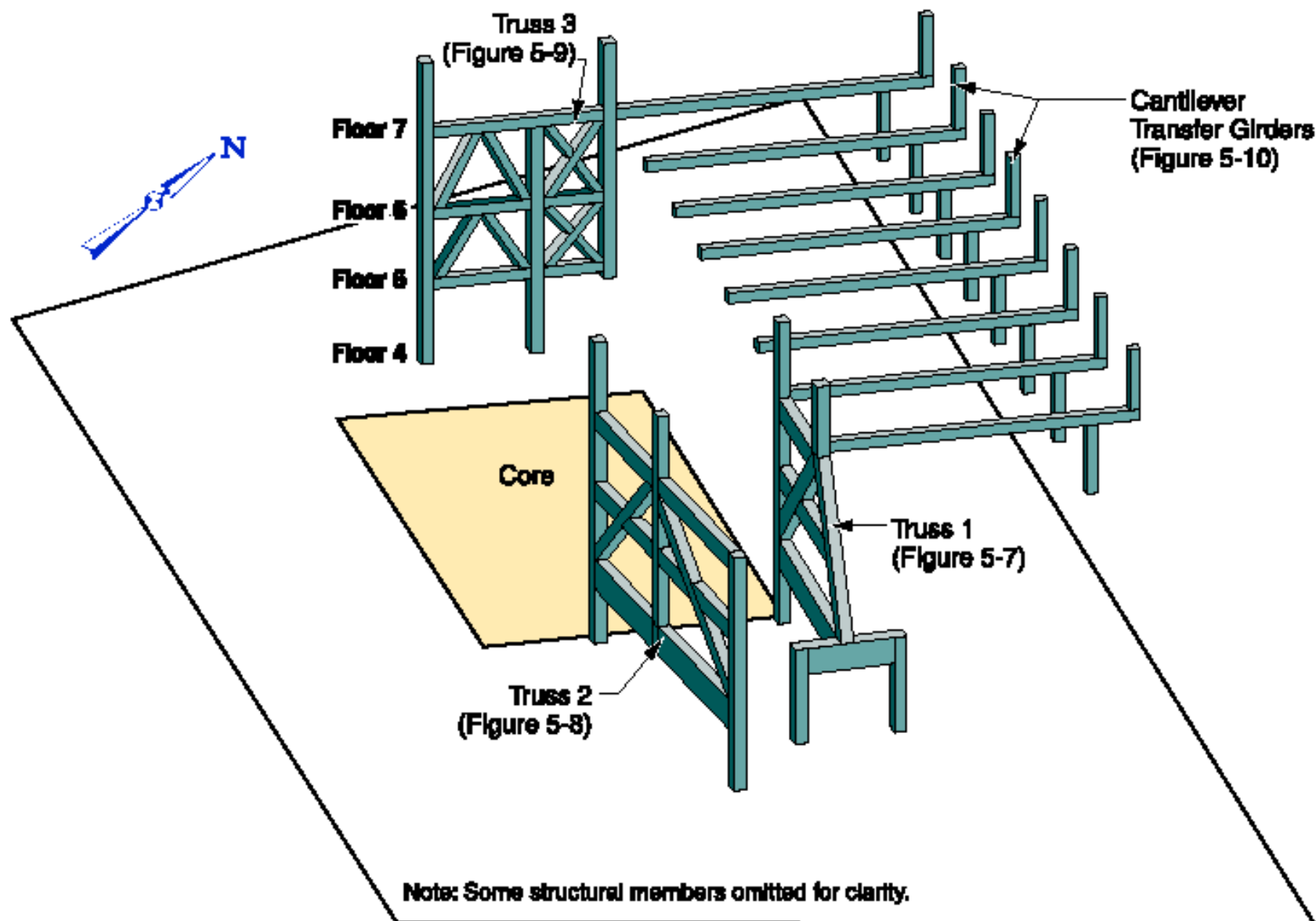
WTC 7 pūdorys



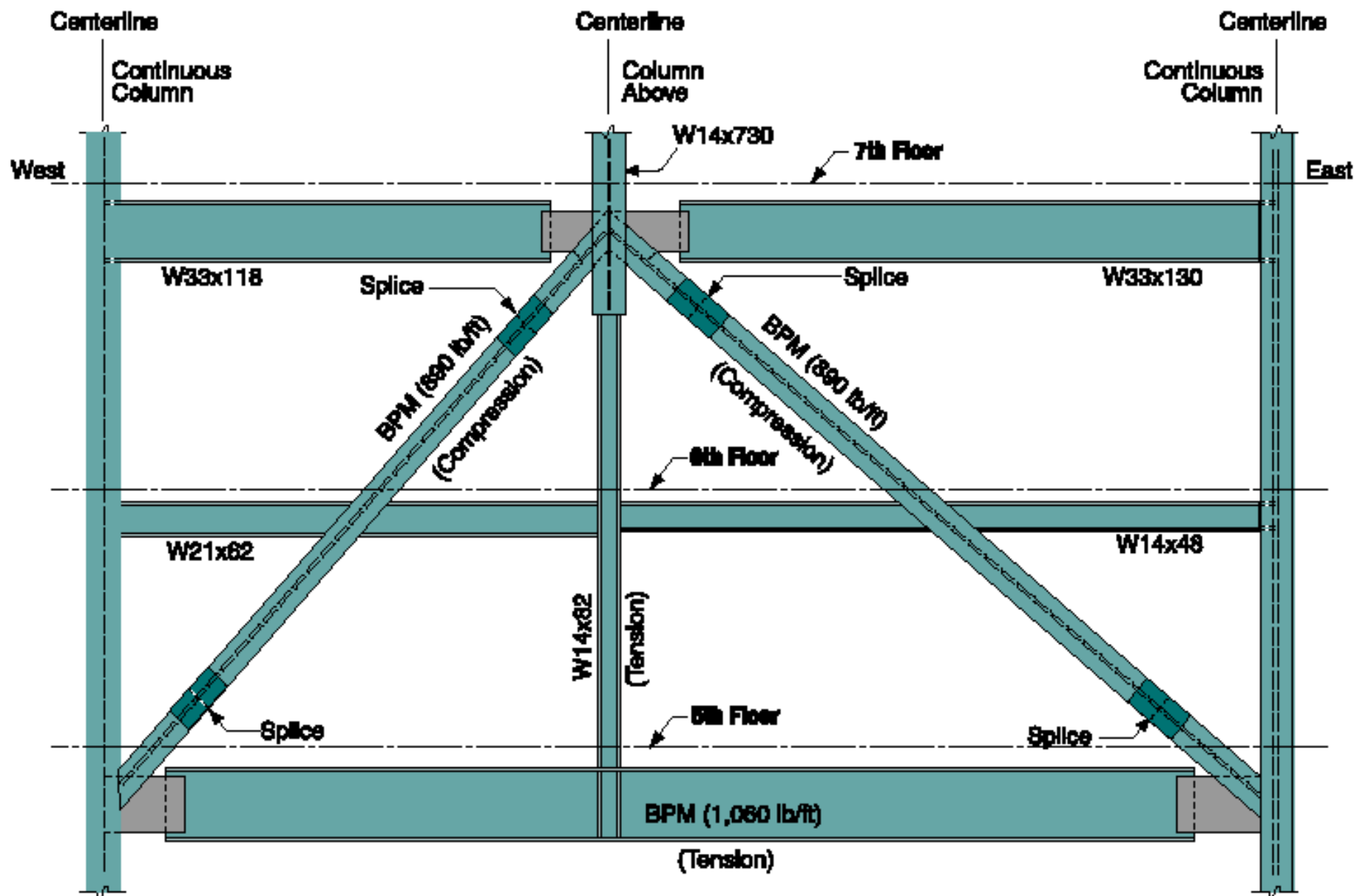
WTC 7 Řezy



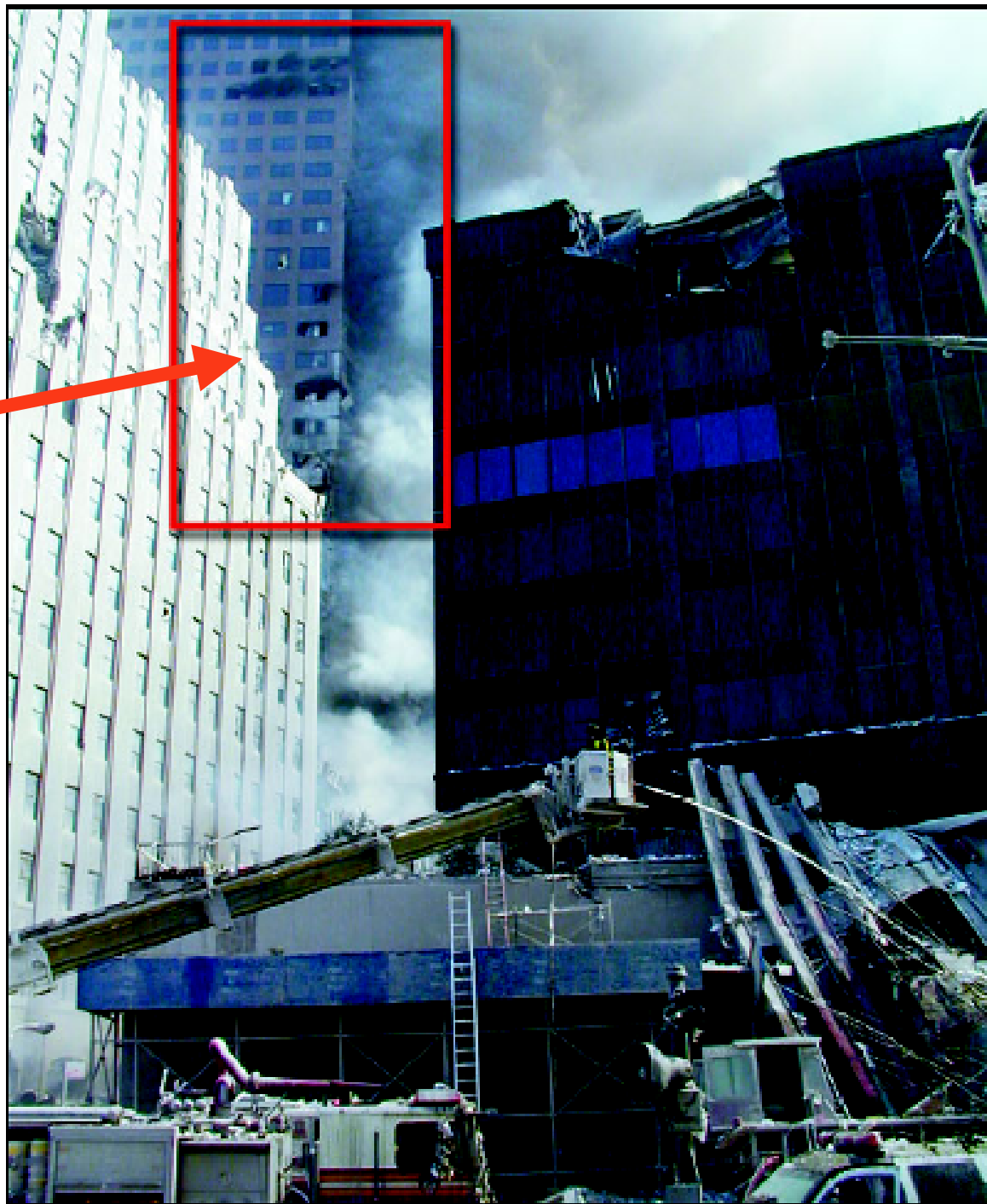
WTC 7 schéma ztužení



WTC 7 příhradové ztužidlo



WTC 7
Iniciace porušení
pádem
horní části
WTC 1



WTC 7 požár



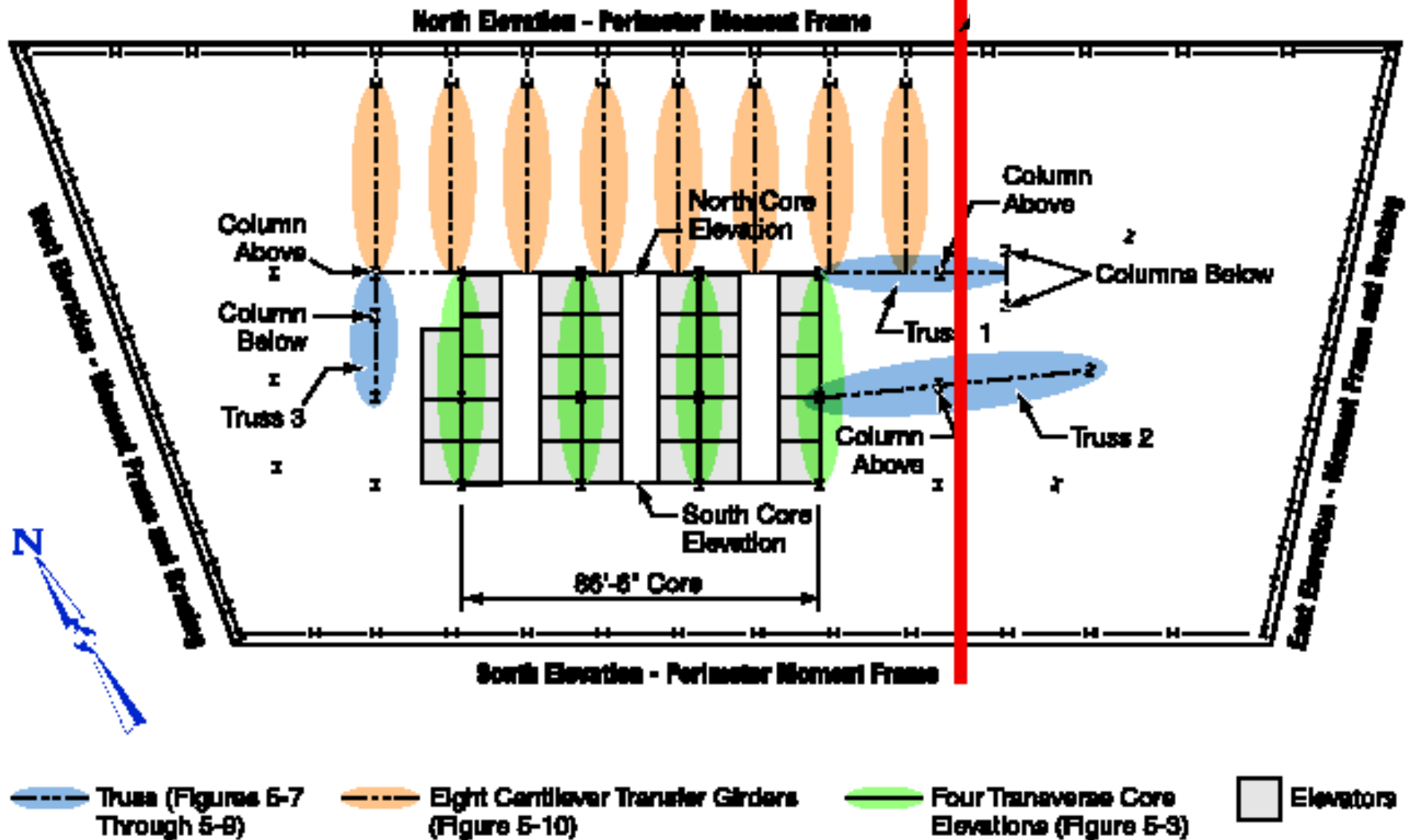
WTC 7 počátek rozlomení



Iniciace rozlomení



WTC 7 rozlomení



WTC 7
kolaps



Závěry z kolapsu budov WTC 11/9/01



- ◆ Budovy vzdorovaly úspěšně mimořádné situaci
(výpočty se dnes zjišťuje jak mohly tak dlouho vydržet)
- ◆ Změny v předpisech nejsou třeba
navíc nové a současně používané poznatky vedou k vyšší
spolehlivosti dnes navrhovaných budov
- ◆ Spolehlivost proti progresivnímu kolapsu
se zvyšuje zlepšením konstrukční celistvosti objektů
(robustností konstrukčních prvků a styčníků)



Program

- 15:00 Požární bezpečnost při vstupu ČR do EU
- 15:10 Požární bezpečnost staveb
- 15:30 Výpočet požadované požární odolnosti
- 15:50 Výpočet skutečné požární odolnosti konstrukcí

16:10 Káva

16:30 Betonové konstrukce

17:00 Ocelové konstrukce

17:30 Káva, občerstvení

18:00 Ocelobetonové konstrukce

18:30 Dřevěné konstrukce

19:00 Poučení z kolapsu WTC 11/9/2001

 19:15 **Požární experimenty velkého rozsahu**

prof.Ing. František Wald, CSc., FSv ČVUT

19:30 - 19:45 Dotazy