



Prvky kovových konstrukcí

Navrhování na účinky zemětřesení

Prezentuje



Ing. Martin Vild, Ph.D.

- IDEA StatiCa – Product Owner
- VUT FAST – Odborný asistent

Výzkum:

- Přípoje ocelových konstrukcí
- Metoda konečných prvků

[Scopus Author ID: 56188615700](#)

Člen komisí:

- CEN/TC 250/SC 3/WG 8
"Evolution of EN 1993-1-8 -
Joints and connections"
- ECCS TC10 "Structural
Connections"



Calculate yesterday's estimates



Web:

<https://www.fce.vutbr.cz/KDK/vild.m/>

email: vild.m@fce.vutbr.cz

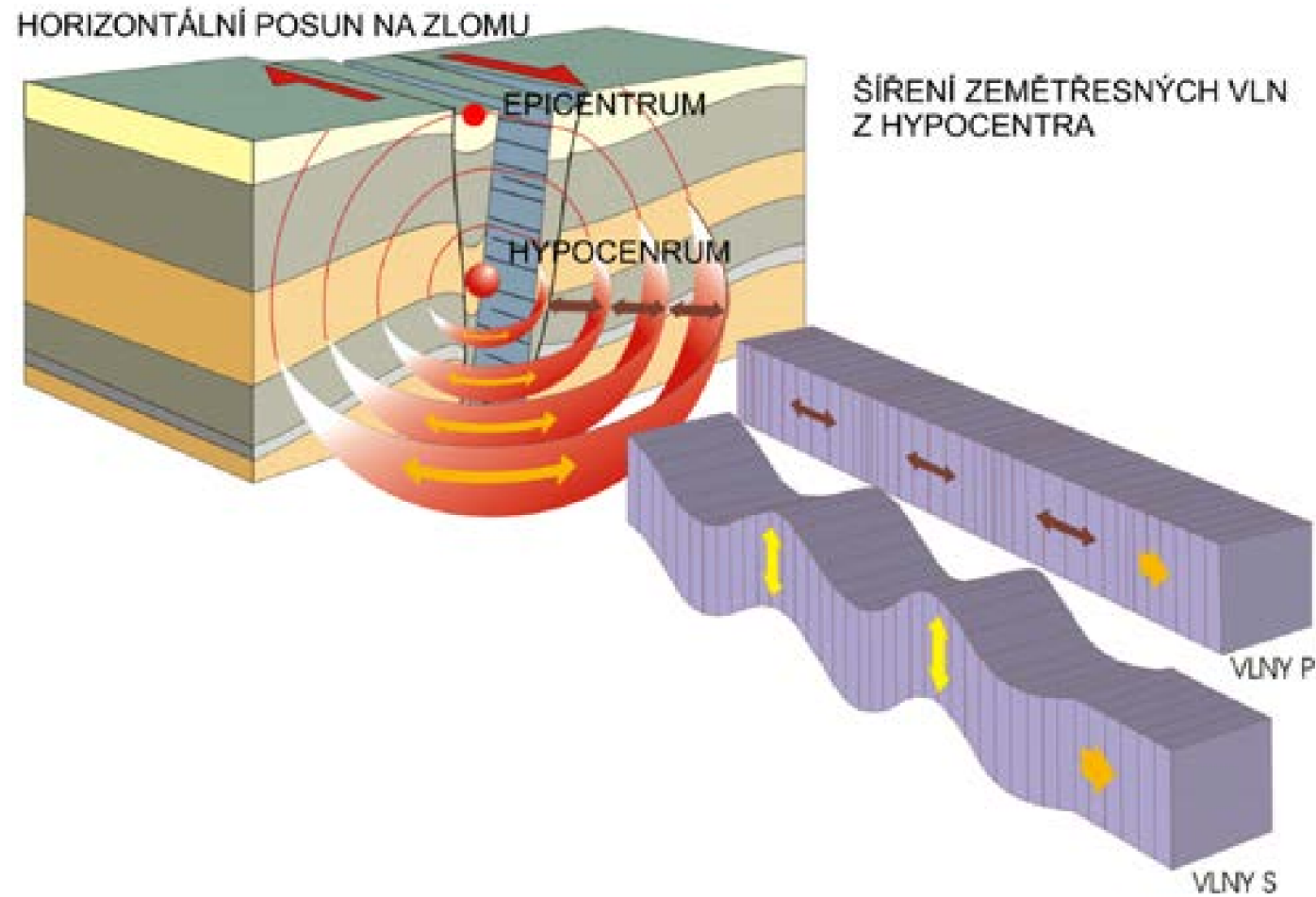
Kancelář: C203

Konzultace:

Úterý 10–12

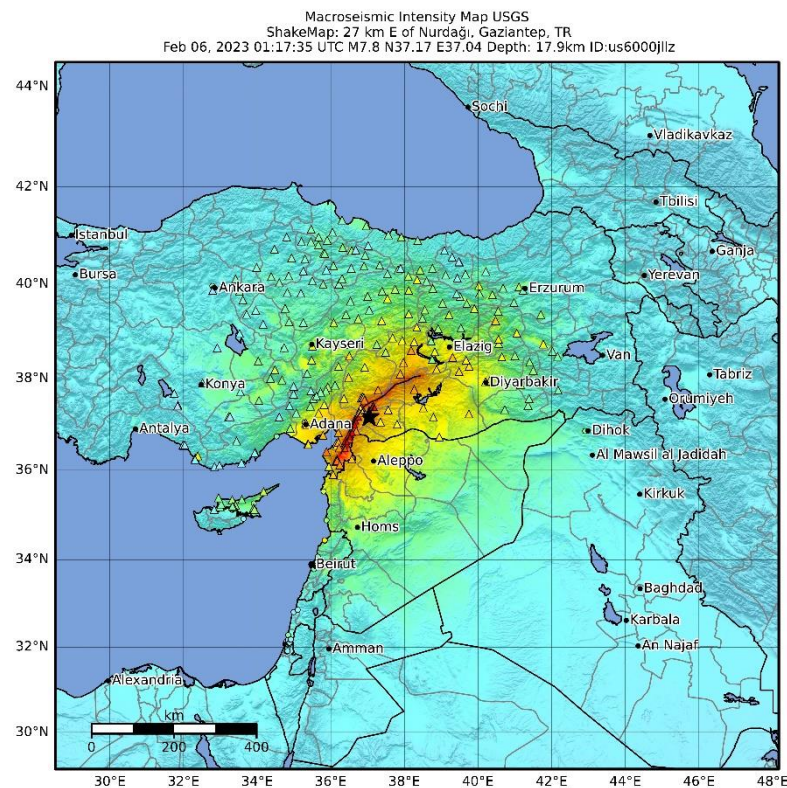
Středa 12–14

Zemětřesení



Jan Zedník: Zemětřesení.
https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2020/11/brozura_zemetreseni.pdf

Zemětřesení v Turecku



SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0464	0.0297	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	74.7	>139
PGV(cm/s)	<0.0215	0.135	1.41	4.65	9.64	20	41.4	85.8	>178
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

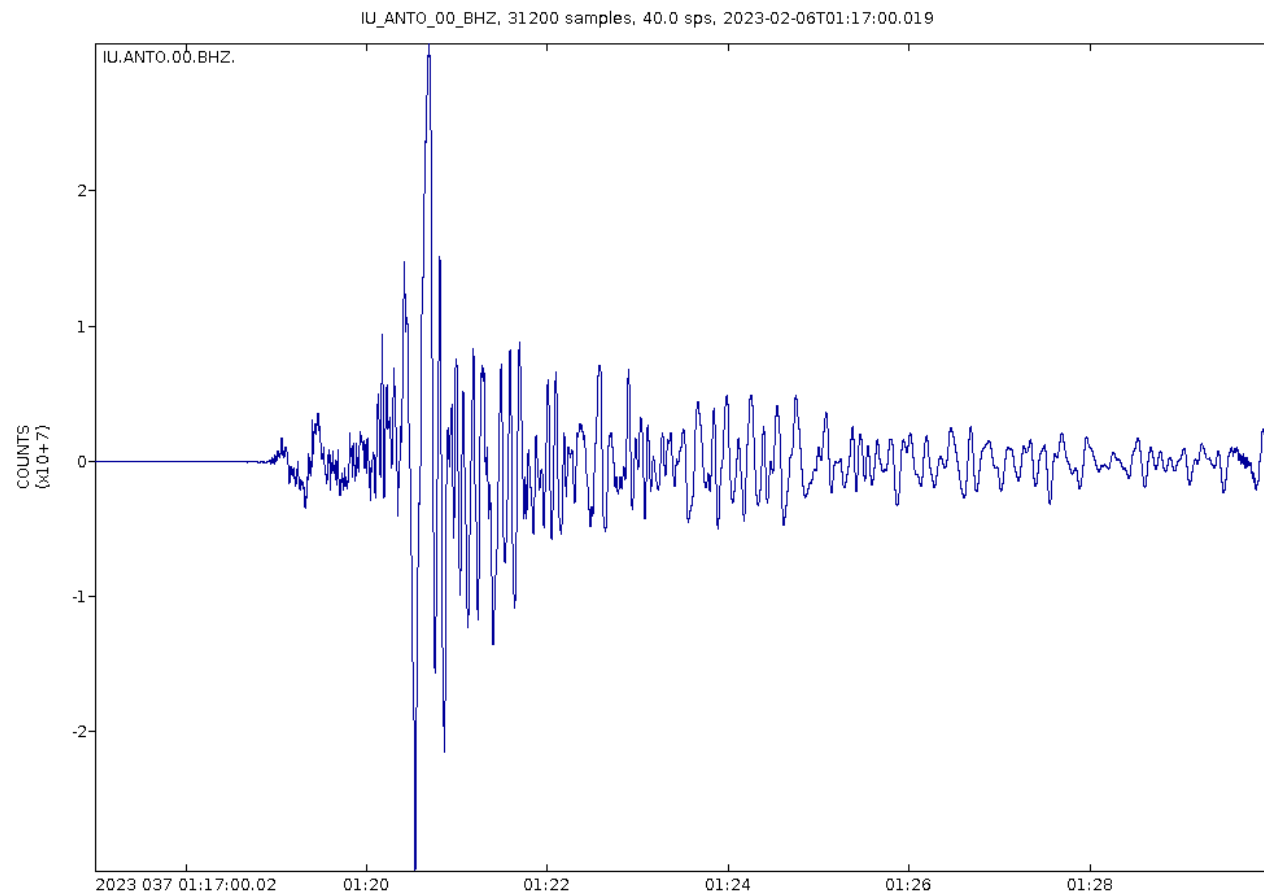
Scale based on Worden et al. (2012)

Version 11: Processed 2023-02-11T23:20:14Z

△ Seismic Instrument ○ Reported Intensity

★ Epicenter

□ Rupture



Richterova škála

Stupeň Intenzity	Stručný popis účinků zemětřesení	Zrychlení cm/s ²
I	Otřesy registrovány pouze citlivými přístroji	
II	Pocítěné jen jednotlivci na některých místech v domech.	
III	Zemětřesení uvnitř budov cítí jen někteří lidé nanejvýš jako houpání nebo lehké chvění.	
IV	Zemětřesení uvnitř budov cítí mnozí, venku jen výjimečně. Někteří jsou probuzeni. Okna a dveře rachotí.	
V	Zemětřesení uvnitř budov cítí většina, venku někteří. Mnozí spící se probudí. Někteří jsou vystrašení. Budovy vibrují. Visící objekty se značně houpají. Malé předměty se posouvají. Dveře a okna se otvírají a zavírají.	12-25
VI	Mnozí jsou vystrašení a vybíhají ven. Některé předměty padají. Mnohé budovy utrpí malé nestrukturální škody (vlásečnicové trhliny nebo odpadnuté malé kousky omítky).	25-50

VII	Většina lidí je vystrašená a vybíhá ven. Nábytek je posunutý. Předměty padají z polic ve velkém množství. Mnohé dobře postavené běžné budovy utrpí střední škody: opadá omítky, padají části komínů; ve stěnách starších budov jsou velké trhliny a příčky jsou zřícené.	50-100
VIII	Mnozí mají problémy udržet rovnováhu. Mnohé domy mají velké trhliny ve stěnách. Několik dobře postavených běžných budov má vážně poškozené stěny. Slabé starší budovy se mohou zřítit.	100-200
IX	Všeobecná panika. Mnoho chatrných budov se řítí. I dobře postavené běžné budovy utrpí velmi těžké škody: těžké poškození stěn a částečně i strukturální škody.	200-400
X	Mnohé dobře postavené běžné budovy se řítí.	400-800
XI	Většina dobře postavených běžných budov se řítí. I některé dobře anti-seismicky postavené budovy jsou zničené.	~ 1000
XII	Téměř všechny budovy jsou zničené. Změní se tvářnost krajiny	

Historie

Tabulka 1. Četnosti ročního výskytu zemětřesení ve světě podle velikosti otřesů

Charakteristik a zemětřesení	Velikost otřesu (magnitudo)	Roční průměrný počet otřesů	Uvolněná energie (ekvivalent kg explosiv)
Ničivé	8.0 a více	1	56.000.000.000
Velké	7.0 - 7.9	18	1.800.000.000
Silné	6.0 - 6.9	120	56.000.000
Střední	5.0 - 5.9	800	1.800.000
Lehké	4.0 - 4.9	6 200	56.000
Menší	3.0 - 3.9	49 000	1.800
Velmi slabé	2.0 - 2.9	365 000	56

Deadliest earthquakes

Date	Location	Fatalities	Magnitude
January 23, 1556	Shaanxi, China	820,000–830,000 (est.)	8.0 (est.)
December 16, 1920	Ningxia–Gansu, China	273,400	7.8
July 28, 1976	Hebei, China	242,769	7.8
May 21, 526	Antioch, Turkey (Byzantine Empire)	240,000	7.0 (est.)
December 26, 2004	Indian Ocean, Sumatra, Indonesia	230,210	9.1–9.3
October 11, 1138	Aleppo, Syria	230,000	Unknown
January 12, 2010	Haiti	222,570-316,000	7
December 22, 856	Damghan, Iran	200,000 (est.)	7.9 (est.)
March 22, 893	Ardabil, Iran	150,000 (est.)	Unknown
September 1, 1923	Kantō region, Japan	142,800	7.9
December 28, 1908	Messina, Italy	123,000	7.1
October 6, 1948	Turkmenistan	110,000	7.3
December 31, 1703	Edo, Japan	2,300-12,000	8.2
November 1, 1755	Lisbon, Portugal	15,000–60,000	8.5–9.0 (est.)

01.11.1755	Portugalsko, Lisabon	70 000	8.7	velká vlna tsunami
25.12.1932	Čína, Gansu	70 000	7.6	
31.05.1970	Peru	66 000	7.8	expedice Huascarán
1268	Malá Asie	60 000		
11.01.1693	Itálie, Sicílie	60 000		
30.05.1935	Pakistán, Quetta	60 000	7.5	
04.02.1783	Itálie, Kalábrie	50 000		
20.06.1990	Irán, Manjil	50 000	7.7	sesuvy půdy

Zpracováno podle U.S: Geological Survey, Golden, Colorado

Historie

Largest earthquakes

Date	Location	Magnitude
May 22, 1960	Valdivia, Chile	9.5
March 27, 1964	Prince William Sound, Alaska, USA	9.2
December 26, 2004	Indian Ocean, Sumatra, Indonesia	9.1–9.3
November 4, 1952	Kamchatka, Russia (then USSR)	9
March 11, 2011	Pacific Ocean, Tōhoku region, Japan	9.0
September 16, 1615	Arica, Chile	8.8 (est.)
November 25, 1833	Sumatra, Indonesia	8.8–9.2 (est.)
January 31, 1906	Ecuador – Colombia	8.8
February 27, 2010	Valdivia, Chile	8.8
January 26, 1700	Pacific Ocean, North America	8.7–9.2 (est.)
July 8, 1730	Valparaiso, Chile	8.7 (est.)
November 1, 1755	Atlantic Ocean, Lisbon, Portugal	8.7 (est.)
February 4, 1965	Rat Islands, Alaska, USA	8.7
July 9, 869	Pacific Ocean, Tōhoku region, Japan	8.6–9.0 (est.)
September 20, 1498	Pacific Ocean, Nankai Trough, Japan	8.6 (est.)
October 28, 1707	Pacific Ocean, Shikoku region, Japan	8.6 (est.)
August 15, 1950	Assam, India – Tibet, China	8.6
March 9, 1957	Andreanof Islands, Alaska, USA	8.6
April 1, 1946	Aleutian Islands, Alaska, USA	8.6
March 28, 2005	Sumatra, Indonesia	8.6

▶ 40 Largest earthquakes Location >

Historie

Costliest earthquakes

Name	Magnitude	Property loss (US 2013 \$)
2011 Tōhoku earthquake, Japan	9	\$235 billion
1995 Great Hanshin (Kobe) earthquake, Japan	6.9	\$100 billion
2008 Sichuan earthquake, China	8	\$75 billion
2010 Chile earthquake, Chile	8.8	\$15–30 billion
1994 Northridge earthquake, United States	6.7	\$20 billion
2012 Emilia earthquakes, Italy	5.9 (est.)	\$13.2 billion
2011 Christchurch earthquake, New Zealand	6.3	\$12 billion
1989 Loma Prieta earthquake, United States	7	\$11 billion
921 earthquake, Taiwan	7.6	\$10 billion
1906 San Francisco earthquake, United States	7.7 to 7.9 (est.)	\$9.5 billion

Zemětřesení v Lisabonu



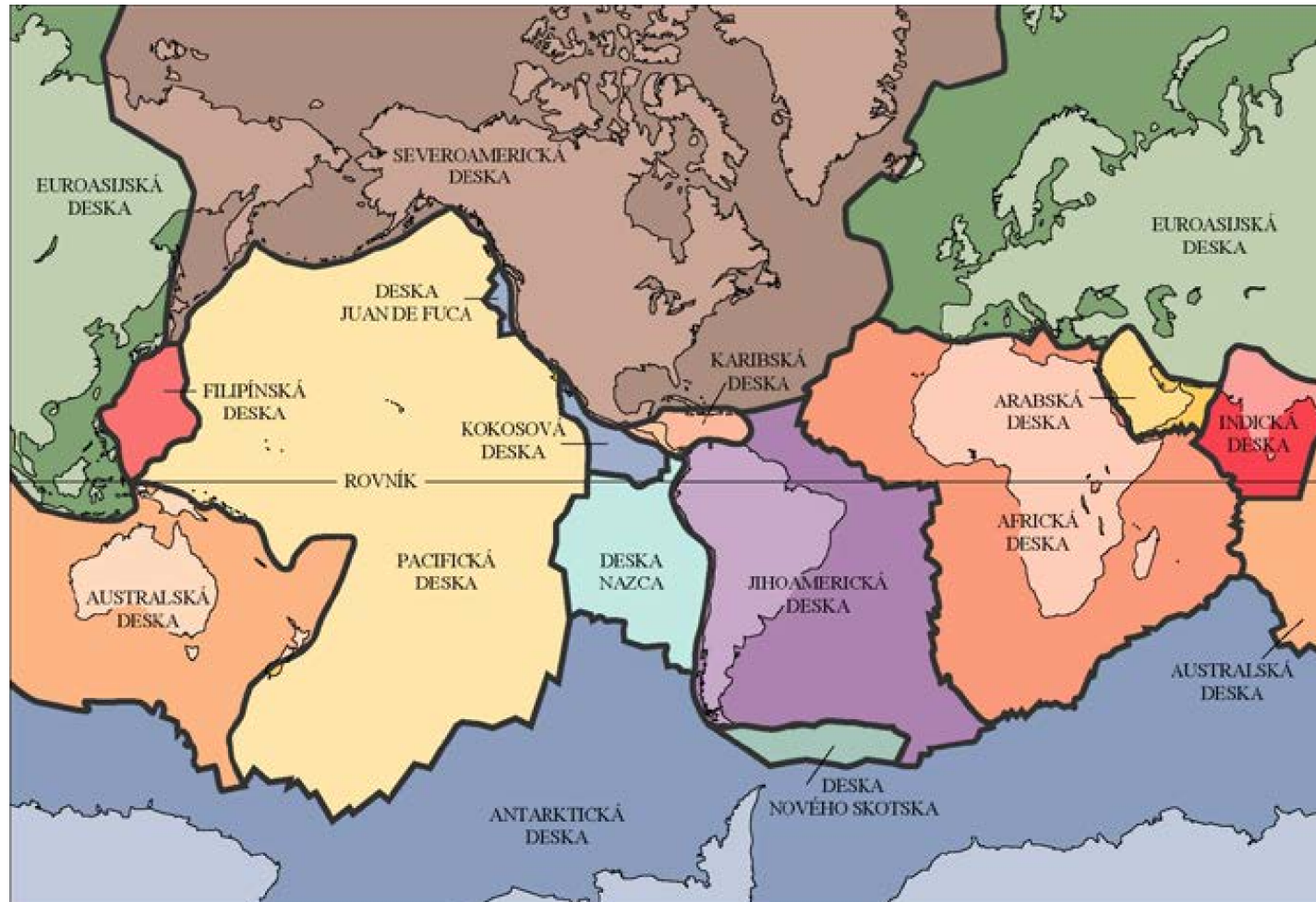
Dobová rytina zemětřesení v Lisabonu r.1755 (Sbírka J.Kozáka)

Posun desek

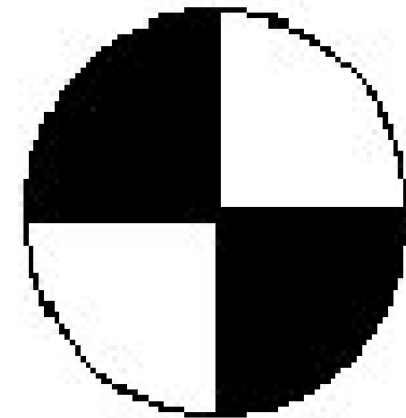
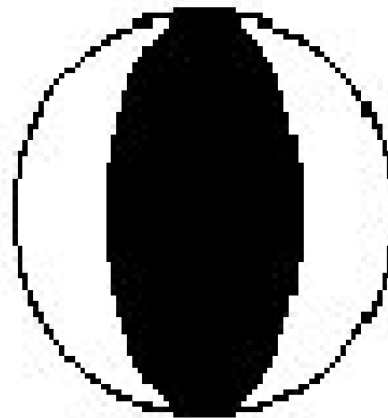
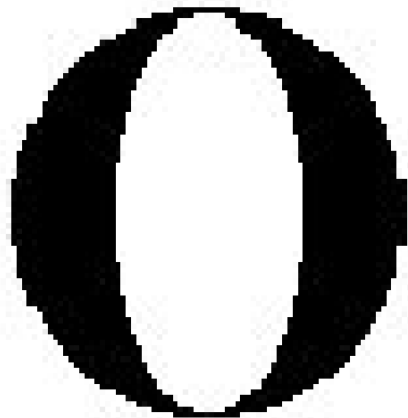
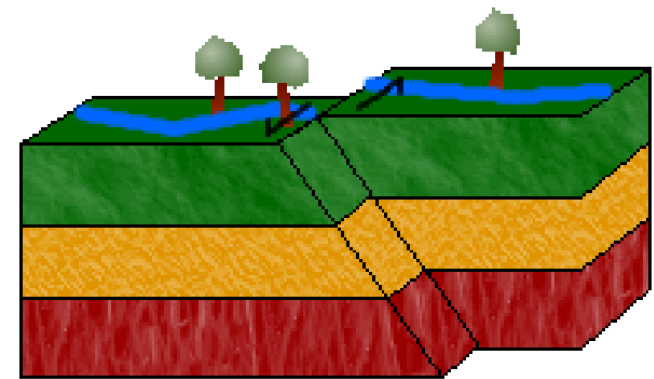
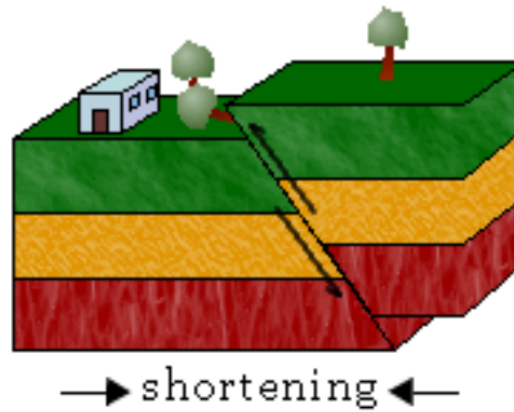
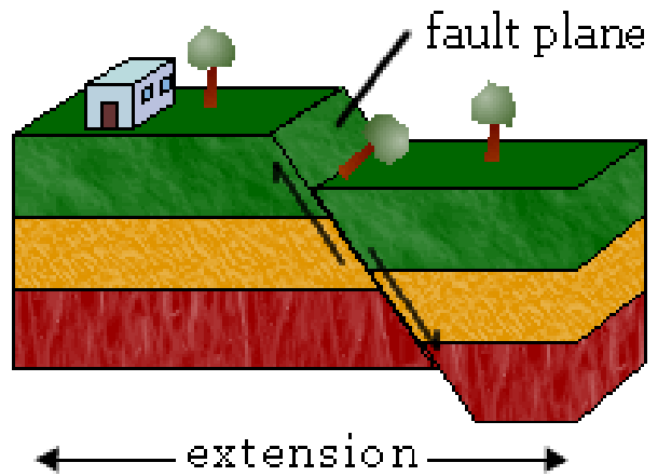


Účinky posunu sousedních
bloků při zemětřesení
v Turecku v r.1999

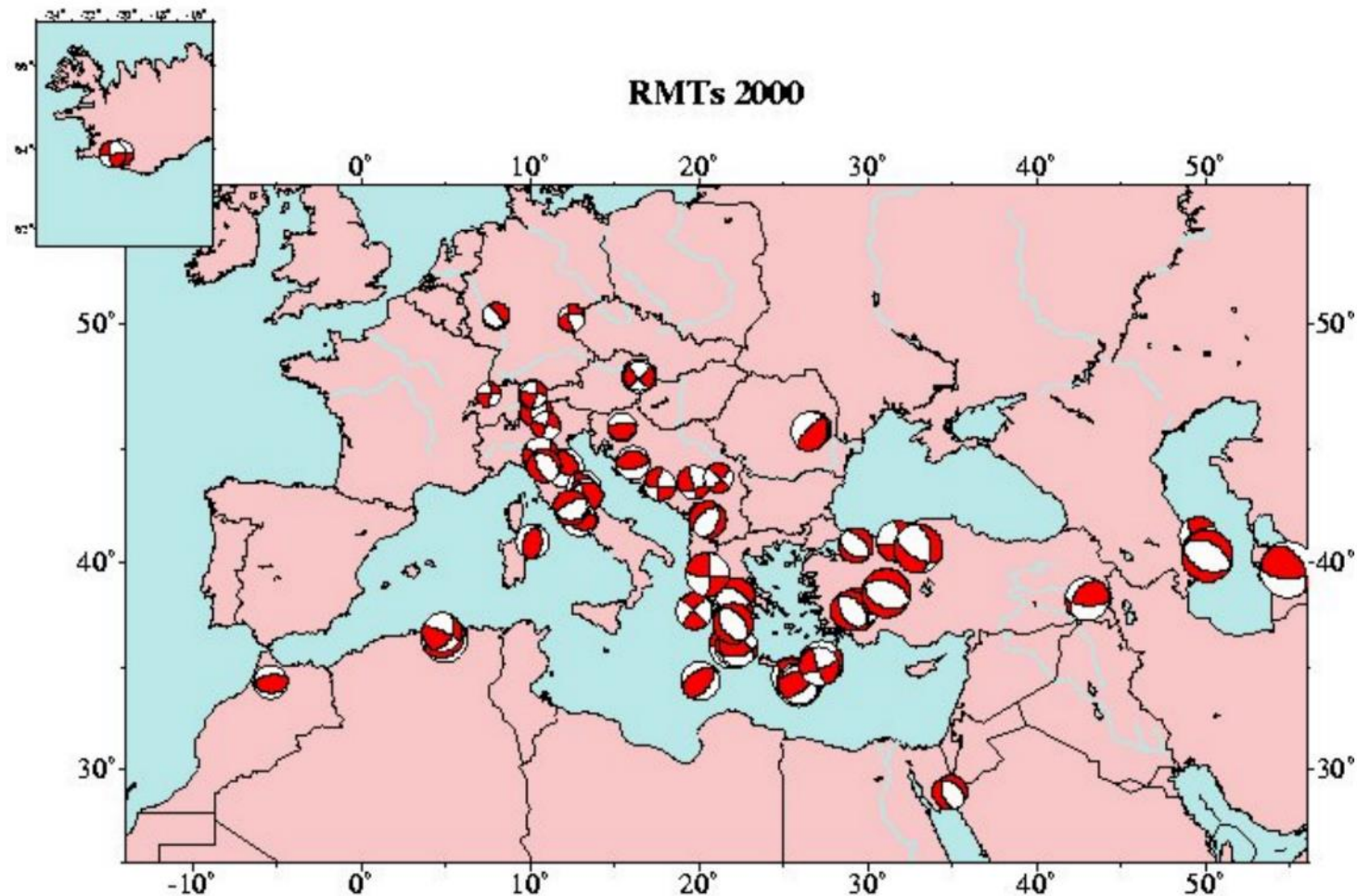
Litosferické desky



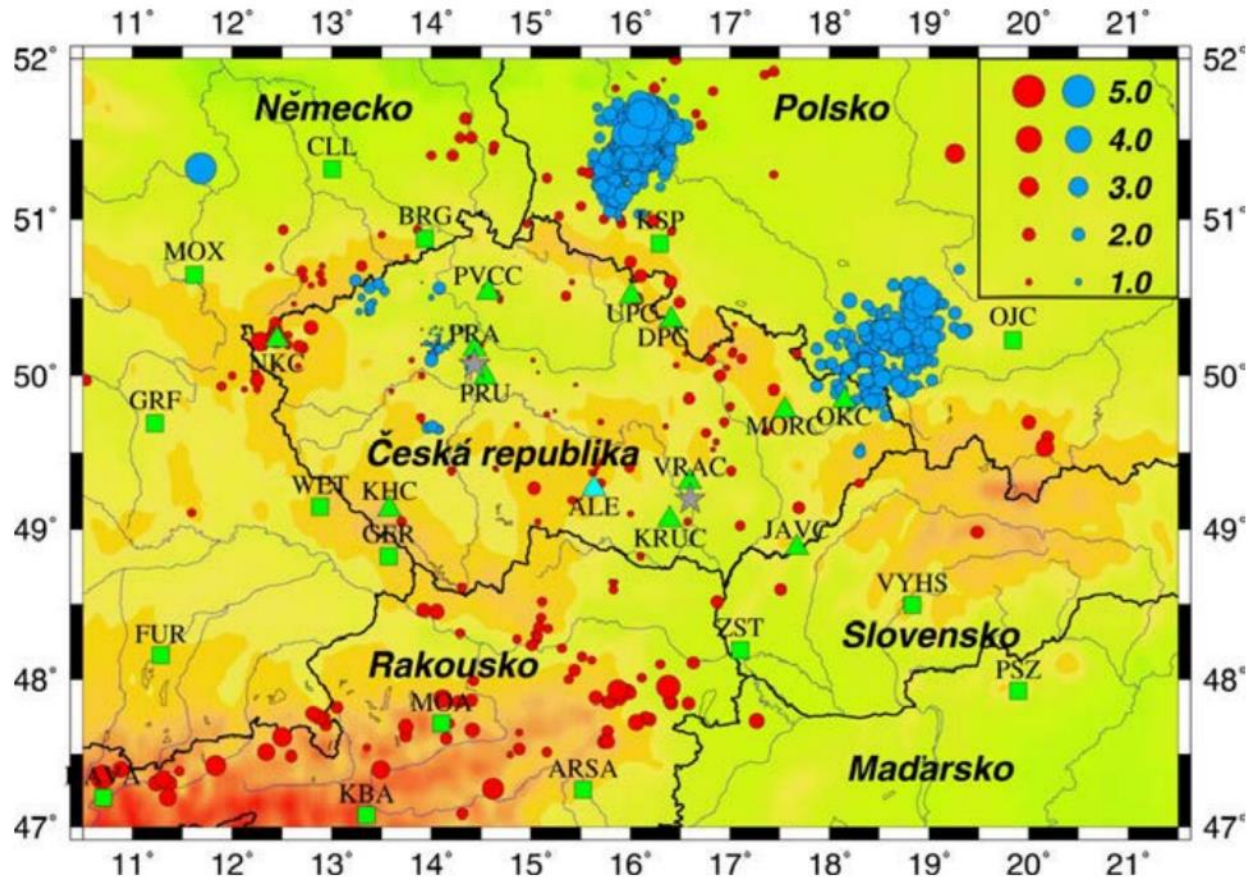
Zemětřesení



Historie – Evropa

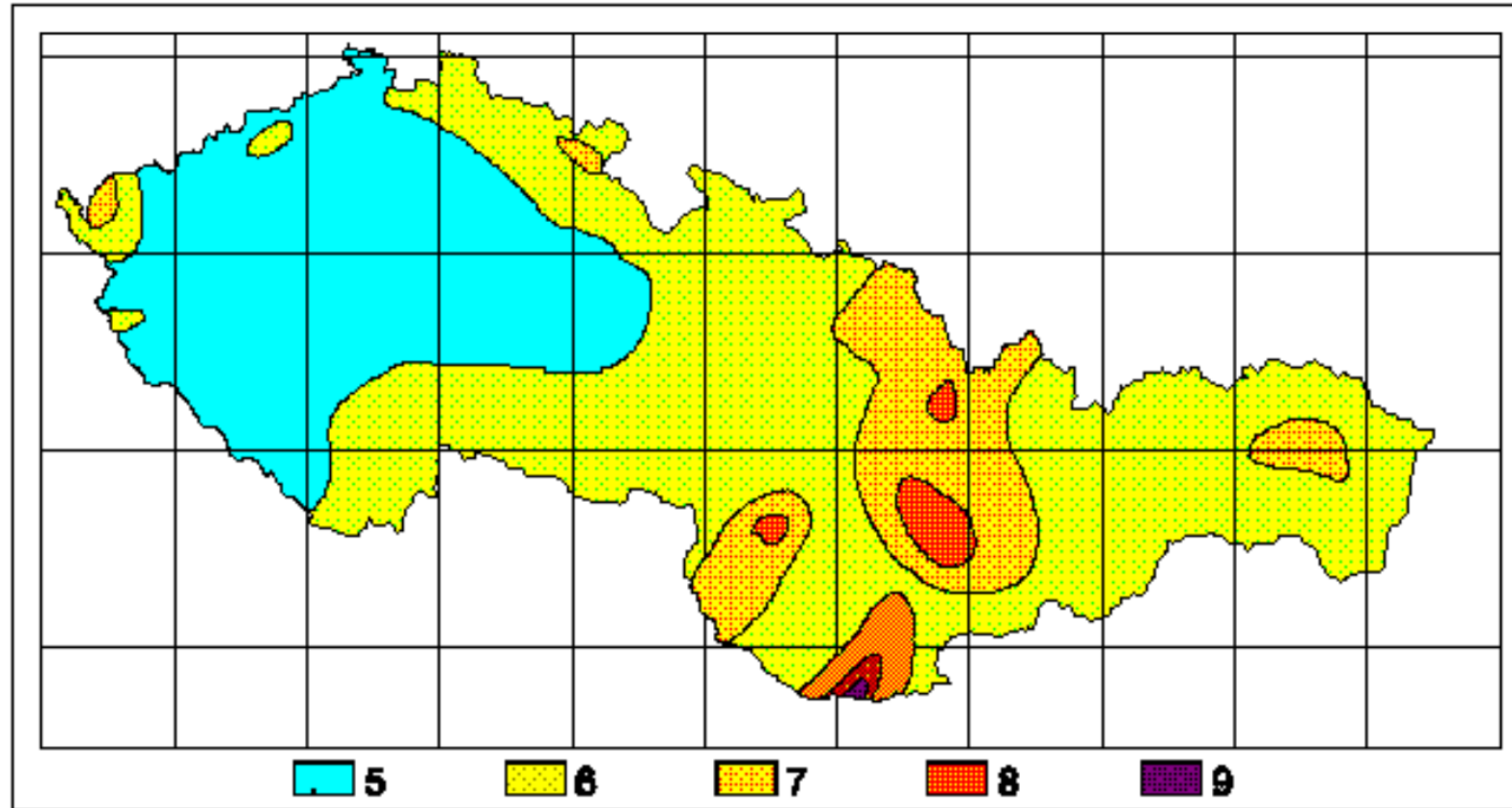


Historie – ČR



Mapa rozložení seismických stanic a ohnisek zemětřesení (červená kolečka) a důlních otřesů (modrá kolečka) za období 2000-2004.

Riziko – ČR a SR



Mapa maximálních očekávaných intenzit zemětřesení na území České republiky a Slovenska

slido



**Kde je největší pravděpodobnost
silných zemětřesení?**

ⓘ Start presenting to display the poll results on this slide.

Návrh na účinky zemětřesení

ČSN EN 1990

3.2 Návrhové situace

(1)P Příslušné návrhové situace se musí vybrat s ohledem na okolnosti, za kterých se požaduje, aby konstrukce plnila svou funkci.

(2)P Návrhové situace se musí klasifikovat jako:

- trvalé návrhové situace, které se vztahují k podmínkám běžného používání;
- dočasné návrhové situace, které se vztahují k dočasným podmínkám, jimž je konstrukce vystavena, např. během výstavby nebo opravy;
- mimořádné návrhové situace, které se vztahují k výjimečným podmínkám, jimž je konstrukce vystavena, např. požár, výbuch, náraz nebo následky omezených poruch;
- seismické návrhové situace, které se vztahují k podmínkám, jimž je konstrukce vystavena během seismických událostí.

Návrh na účinky zemětřesení

- Zamezit ztrátám na životech
 - částečný kolaps
 - kolaps celé budovy
- Redukovat ekonomické škody
 - celá budova
 - cena oprav
 - nemožnost používání
- Obnova regionu

Třídy následků (EN 1990)

Tabulka B.1 – Definice tříd následků

Třídy následků	Popis	Příklady pozemních nebo inženýrských staveb
CC3	velké následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo velmi významné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	stadióny, budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy vysoké (např. koncertní sály)
CC2	střední následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	obytné a administrativní budovy a budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy středně závažné (např. kancelářské budovy).
CC1	malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo malé/zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	zemědělské budovy, kam lidé běžně nevstupují (např. budovy pro skladovací účely, skleníky)

Návrh na účinky zemětřesení

- Zamezit nadměrným deformacím
 - horizontální deformace
 - horizontální stabilita
 - vertikální stabilita
 - evakuační cesty

Návrh na účinky zemětřesení

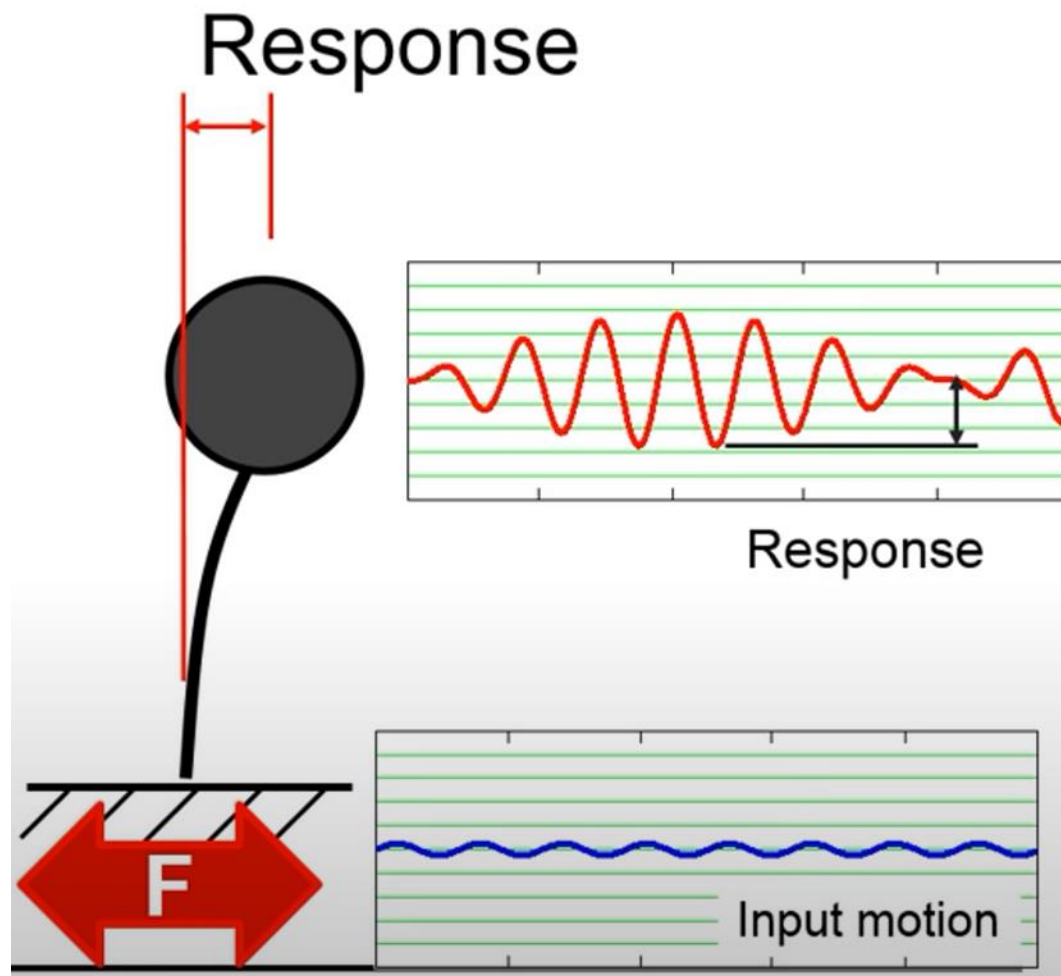
- Nenosné prvky
 - Zamezit pádům
 - Zamezit blokování únikových cest



Návrh na účinky zemětřesení

- Nosné prvky
 - Vertikální pohyby
 - Na ty je budovat standardně navržena
 - Obvykle malý vliv
 - Horizontální pohyby
 - Smykové deformace
 - Překlopení

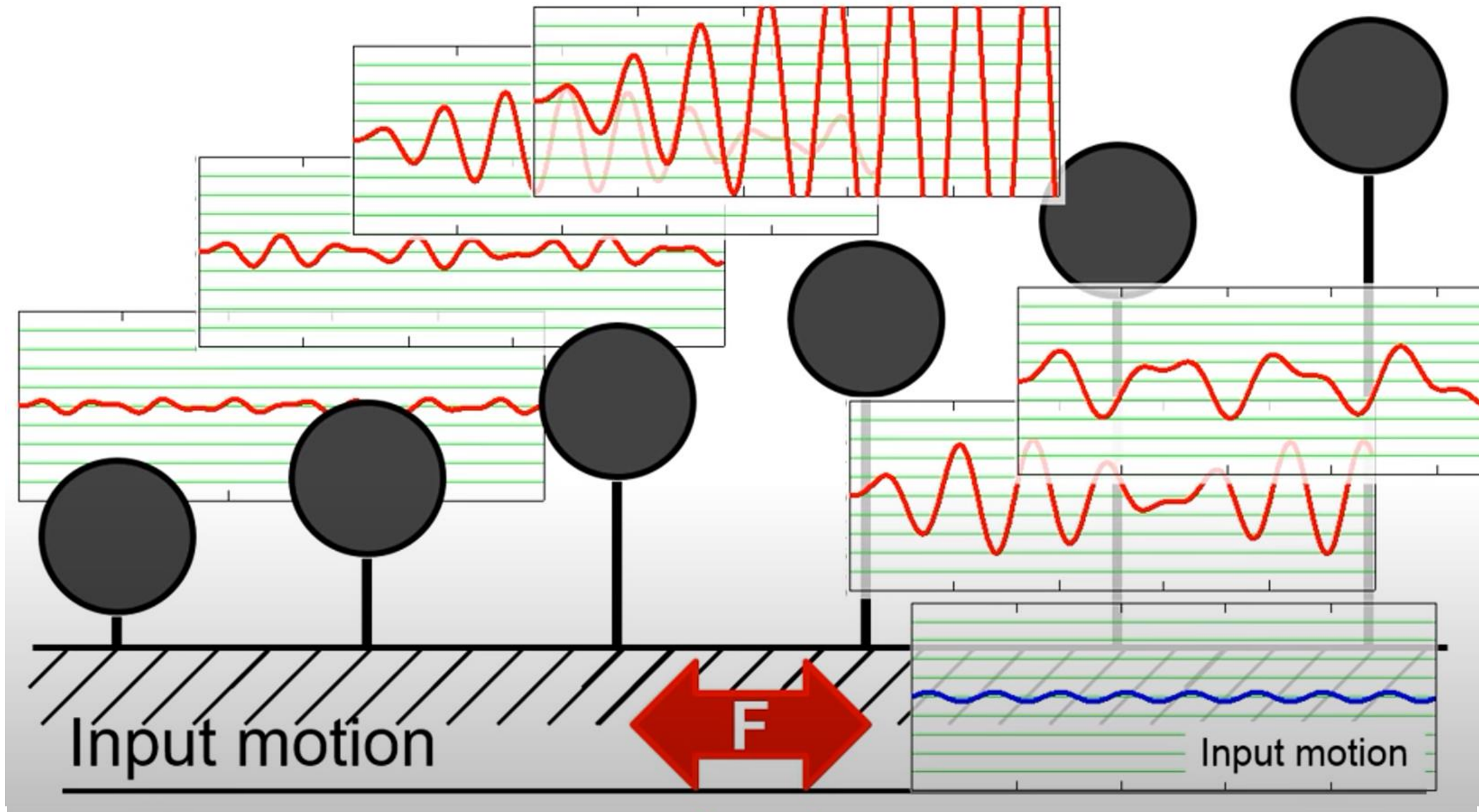
Odezva konstrukce



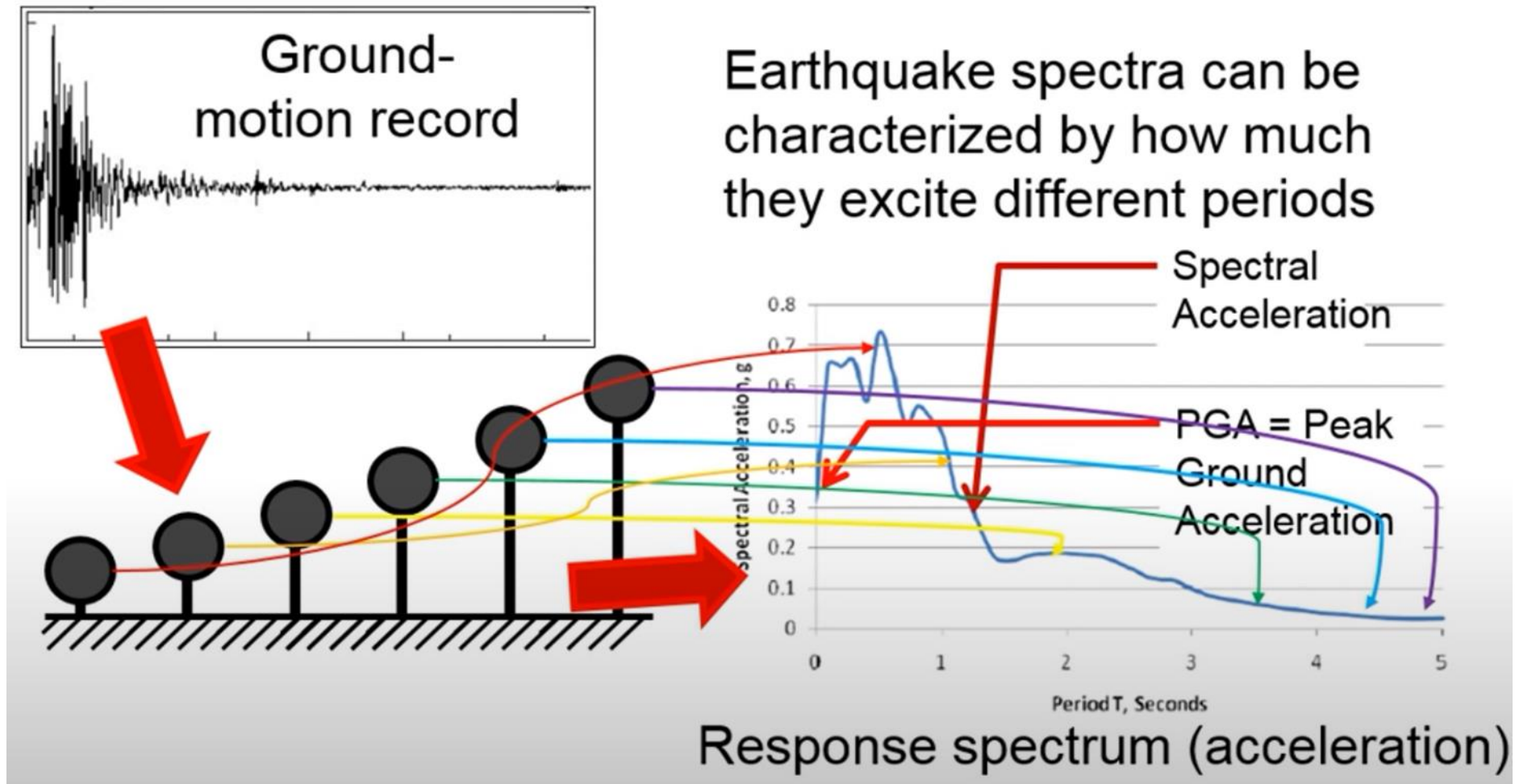
Odezva:

Posun
Rychlost
Zrychlení
...

Horizontální cyklický pohyb

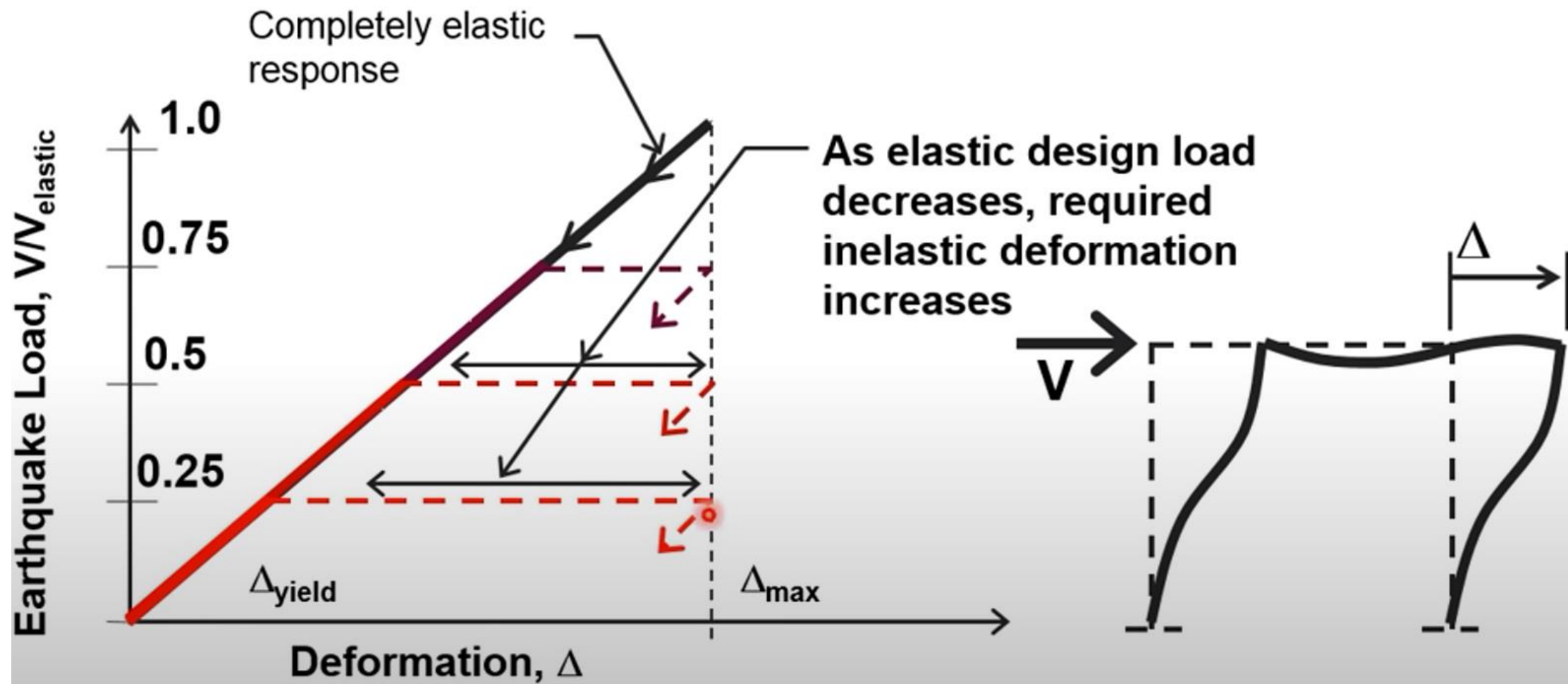


Odezva konstrukce

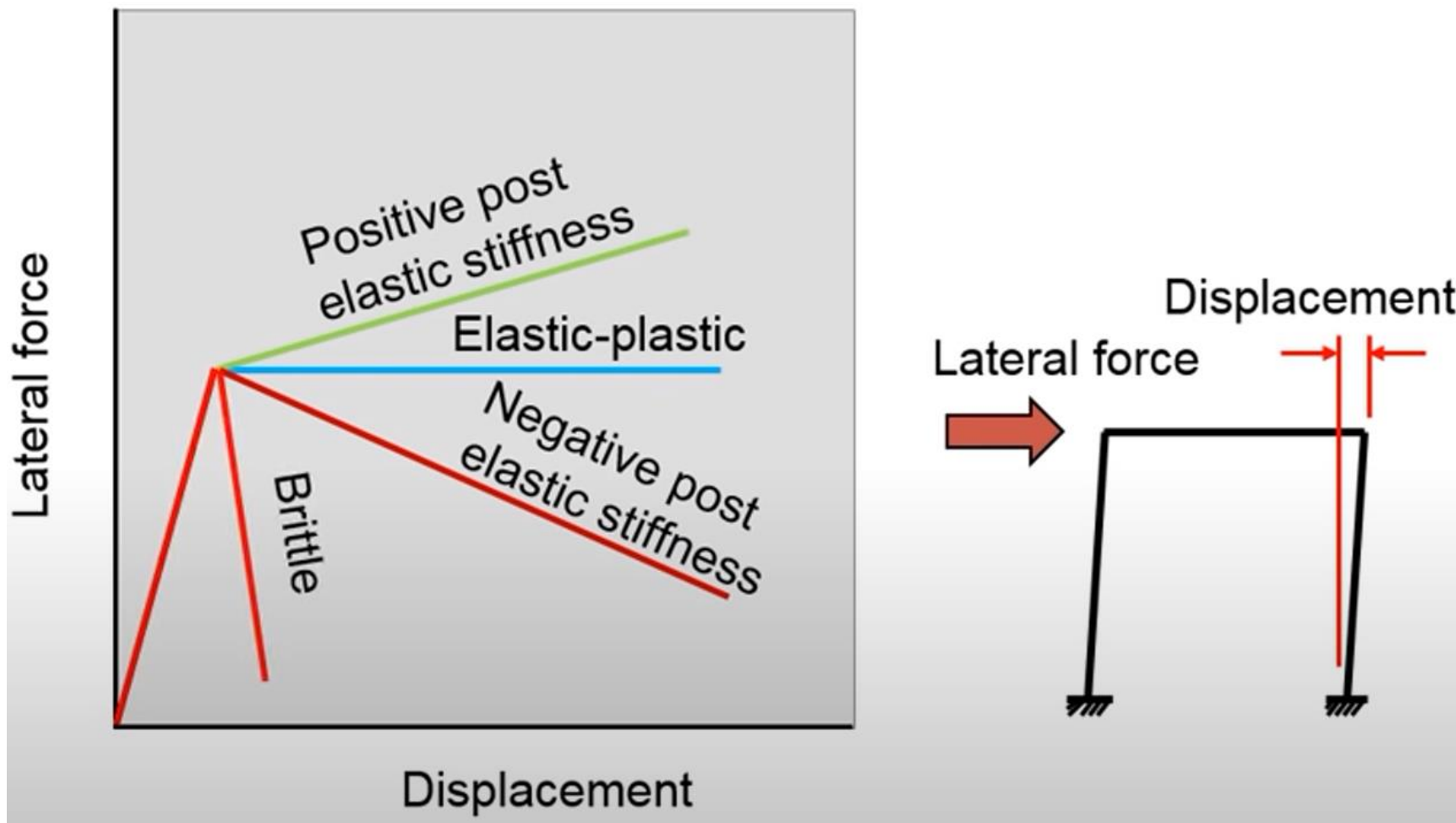




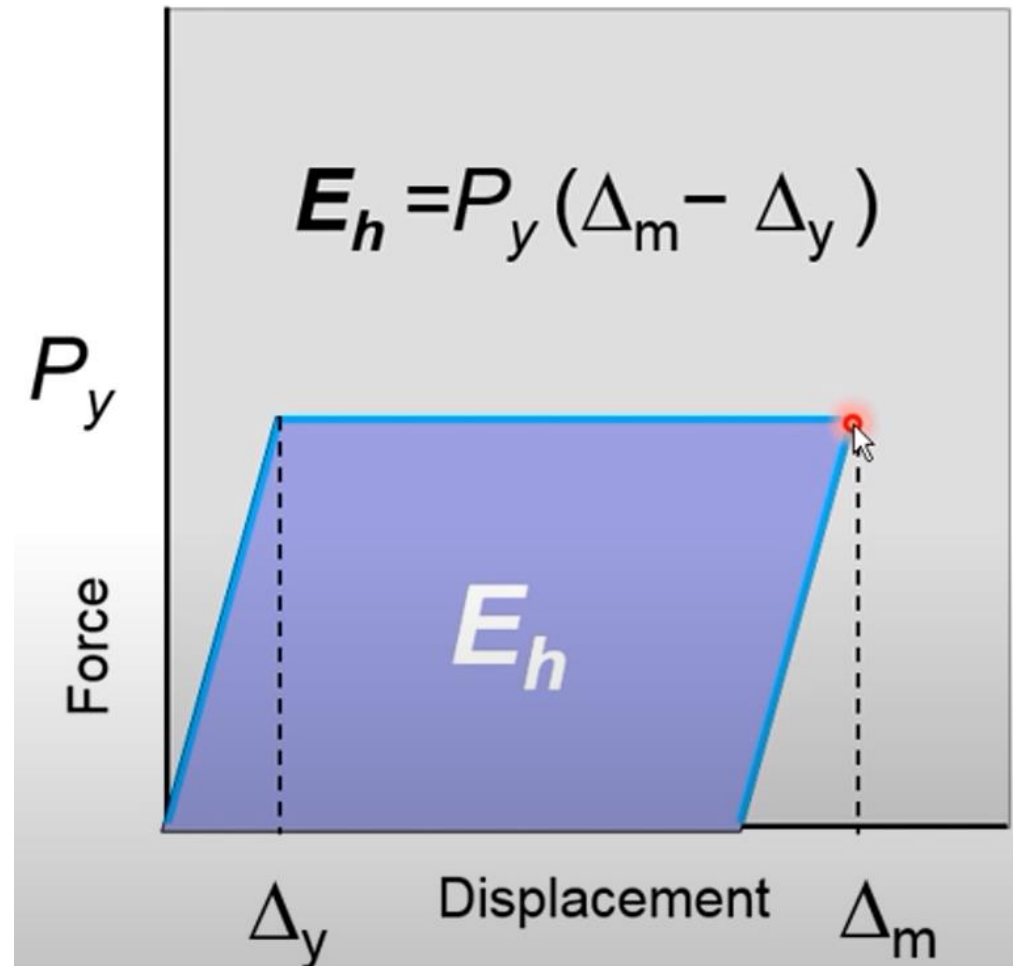
Nepružný seizmický návrh



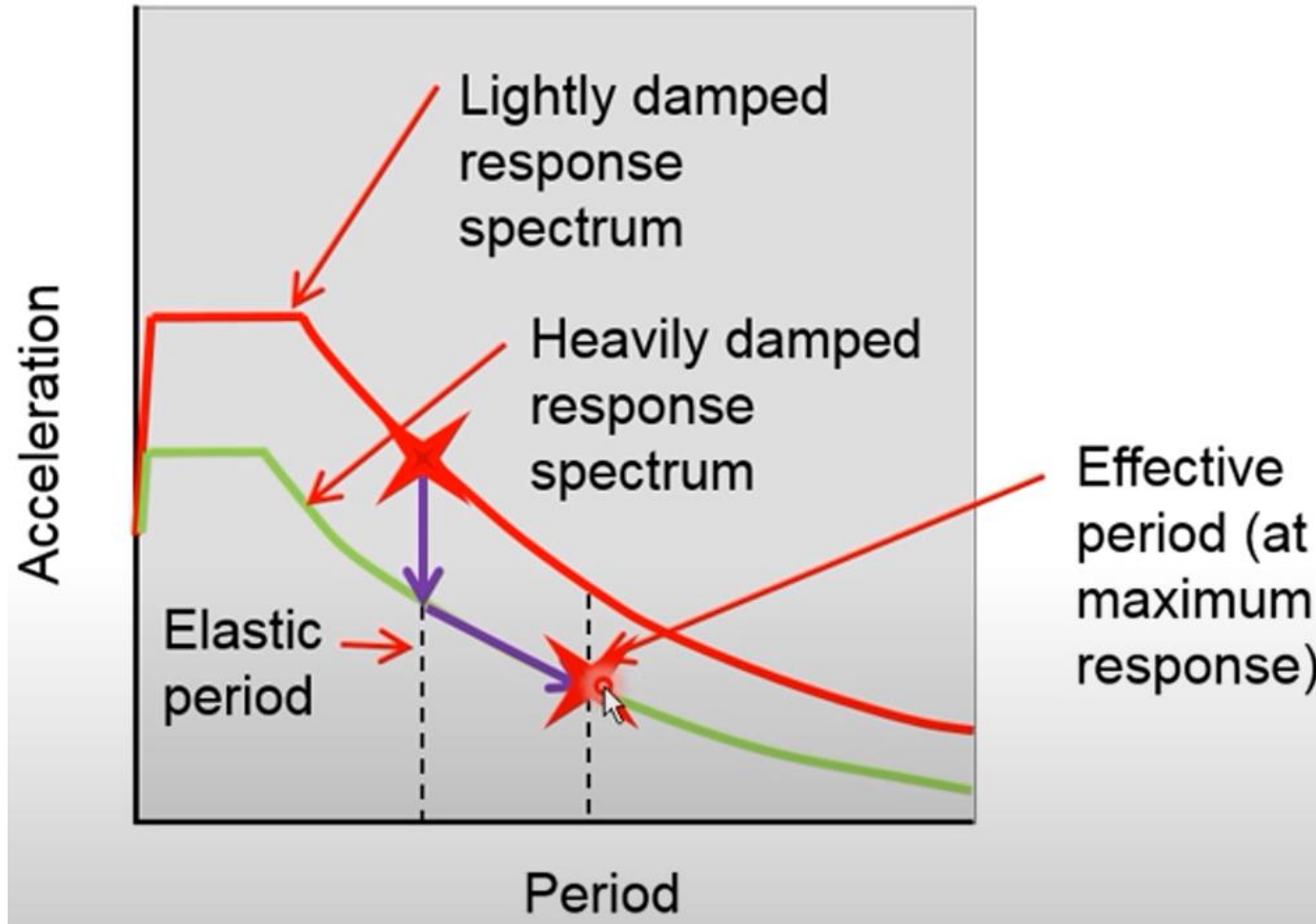
Odezva konstrukce



Disipace energie



Redukovaná odezva



Seizmický návrh

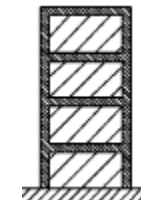
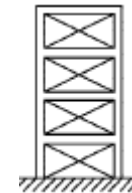
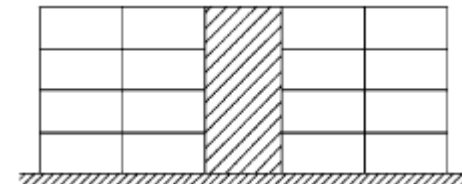
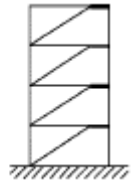
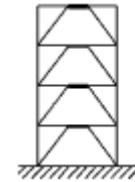
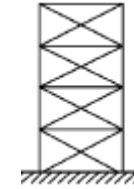
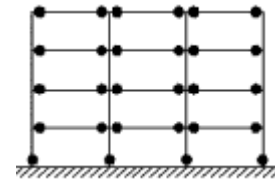
Table 6.1: Design concepts, structural ductility classes and upper limit reference values of the behaviour factors

Design concept	Structural ductility class	Range of the reference values of the behaviour factor q
Concept a) Low dissipative structural behaviour	DCL (Low)	$\leq 1,5 - 2$
Concept b) Dissipative structural behaviour	DCM (Medium)	≤ 4 also limited by the values of Table 6.2
	DCH (High)	only limited by the values of Table 6.2

Nutný kapacitní návrh

Konstrukční systémy

- Moment resisting frames (MRF)
- Frames with concentric bracings (CBF)
- Frames with eccentric bracings (EBF)
- Inverted pendulum structures
- Steel structures associated to concrete cores or concrete walls
- Dual frames made of moment resisting frames combined with braced frames
- Moment resisting frames combined with reinforced concrete infills



Konstrukční systémy

Table 6.2: Upper limit of reference values of behaviour factors for systems regular in elevation

STRUCTURAL TYPE	Ductility Class	
	DCM	DCH
a) Moment resisting frames	4	$5\alpha_w/\alpha_1$
b) Frame with concentric bracings		
Diagonal bracings	4	4
V-bracings	2	2,5
c) Frame with eccentric bracings	4	$5\alpha_w/\alpha_1$
d) Inverted pendulum	2	$2\alpha_w/\alpha_1$
e) Structures with concrete cores or concrete walls	See section 5	
f) Moment resisting frame with concentric bracing	4	$4\alpha_w/\alpha_1$
g) Moment resisting frames with infills		
Unconnected concrete or masonry infills, in contact with the frame	2	2
Connected reinforced concrete infills	See section 7	
Infills isolated from moment frame (see moment frames)	4	$5\alpha_w/\alpha_1$

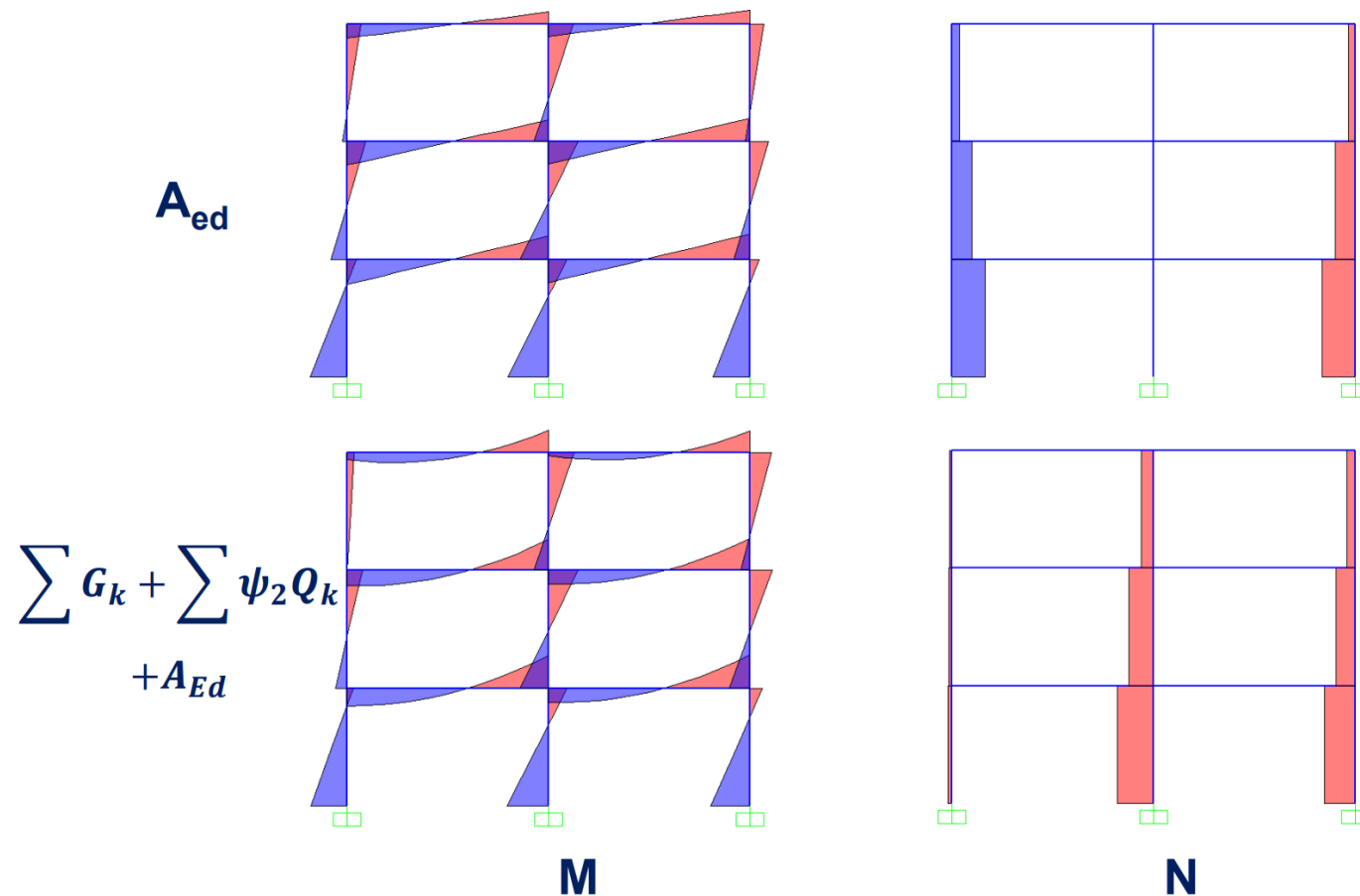
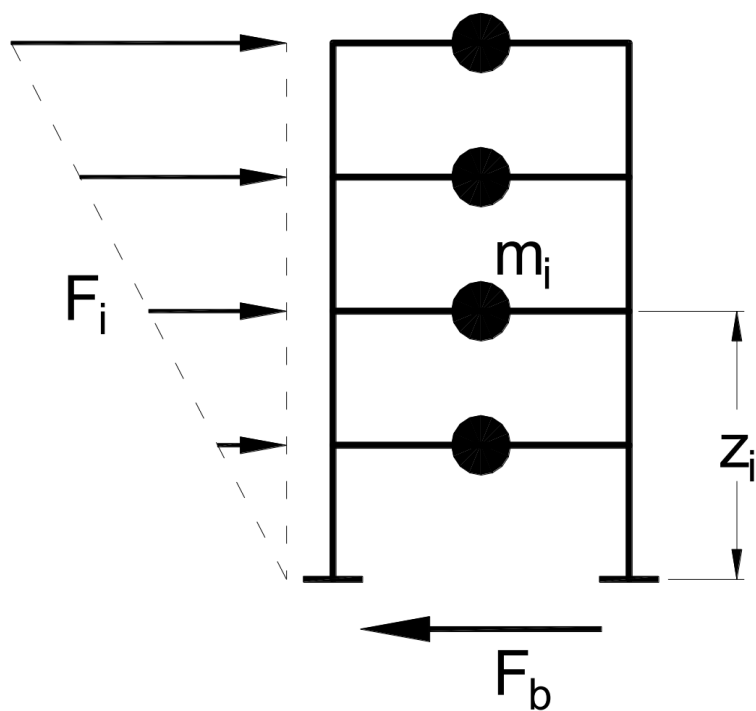


<https://youtu.be/141Zmuw9Xcg>

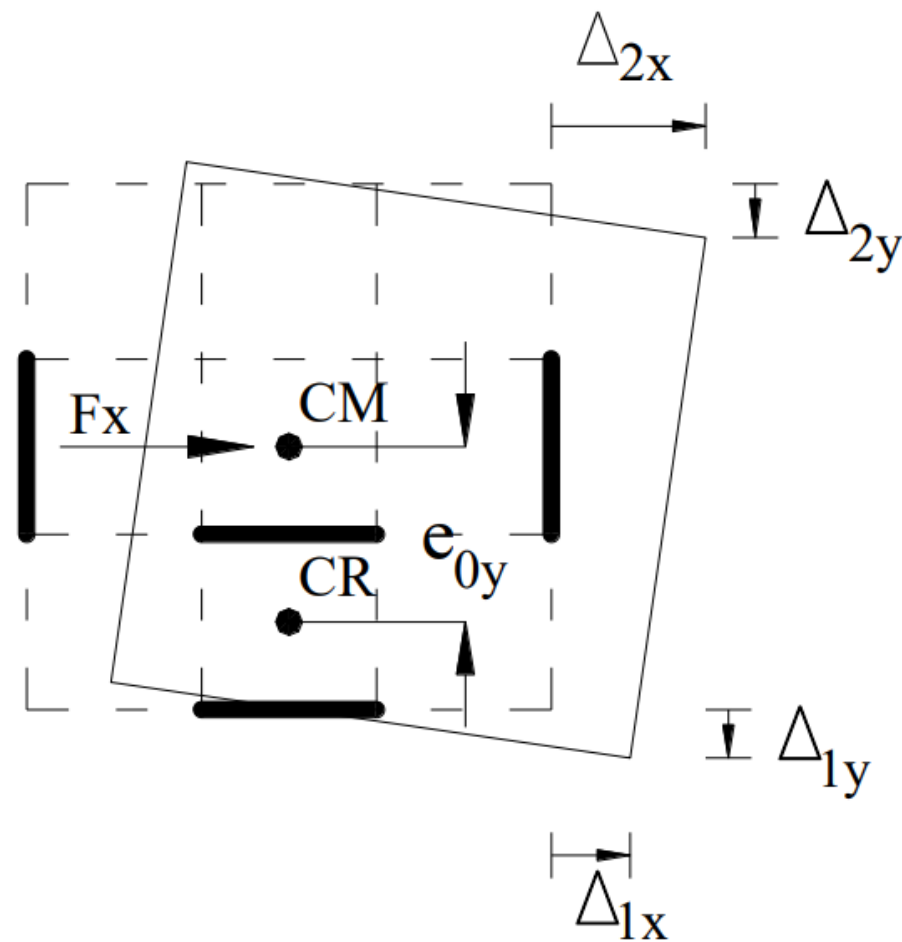
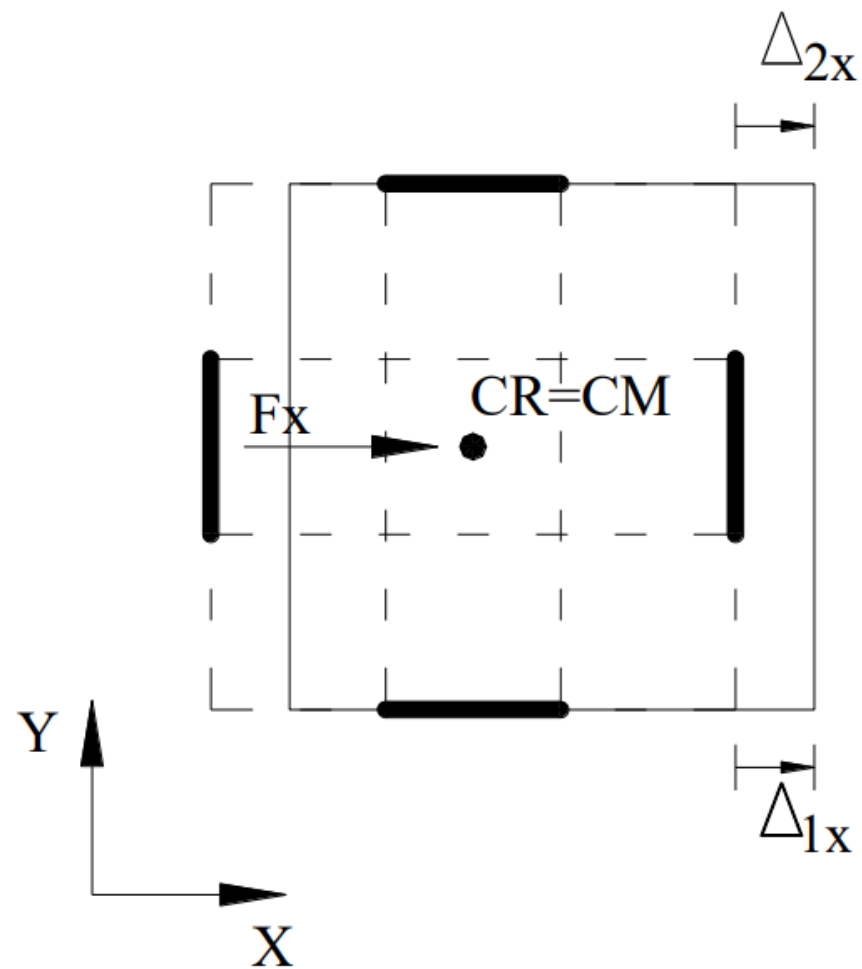
Metody posuzování

- Lateral force method
- Modal response spectrum analysis
- Linear time-history analysis
- Nonlinear static analysis (pushover)
- Nonlinear time-history (NLTH) analysis

Lateral force method



Symetrie budovy



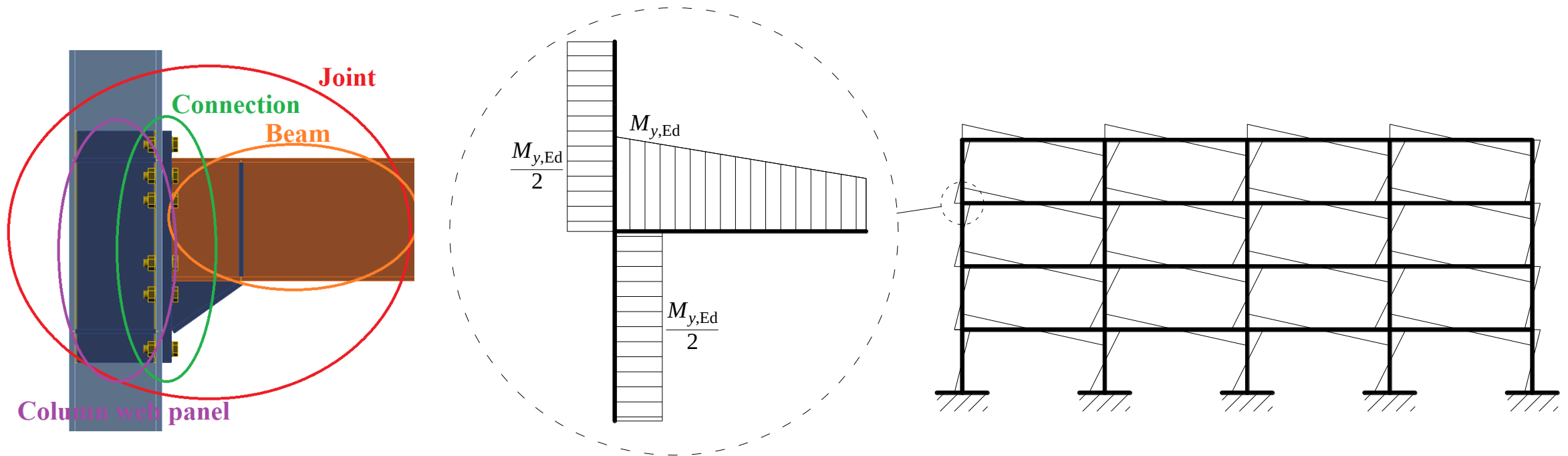
Zásady navrhování

- Žádné zbytečné ornamenty
- Symetrie
- Ověřený konstrukční systém
- Kontrola poruchy
- **Ověřené styčníky – Duktilita**

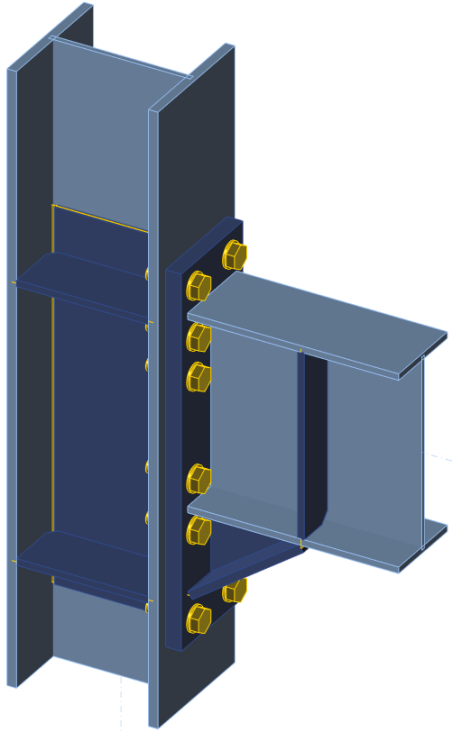
Kapacitní návrh

Vznik plastického kloubu v určeném místě

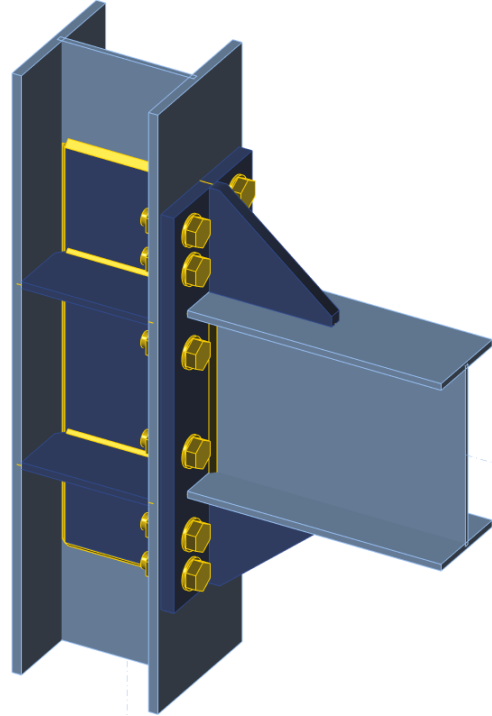
Cílem je prokázat, že styčník má dostatečnou únosnost



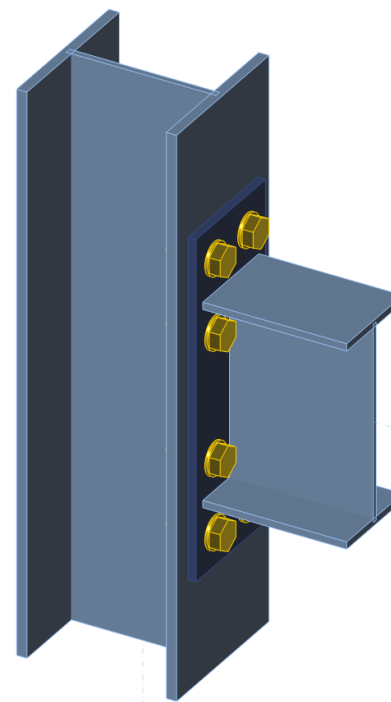
Ověřené styčníky (EQUALJOINTS)



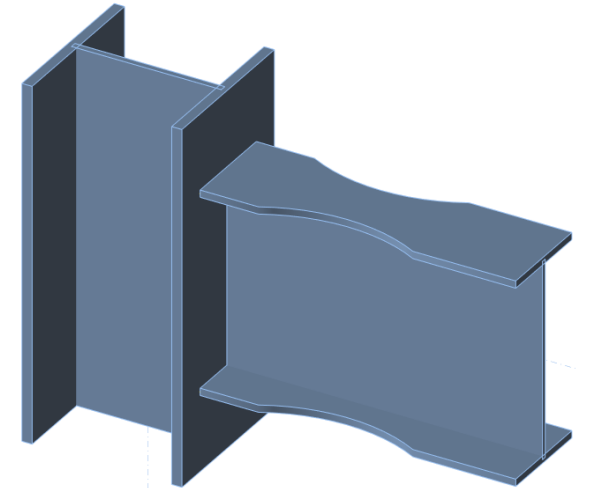
Haunched



Extended stiffened
end-plate

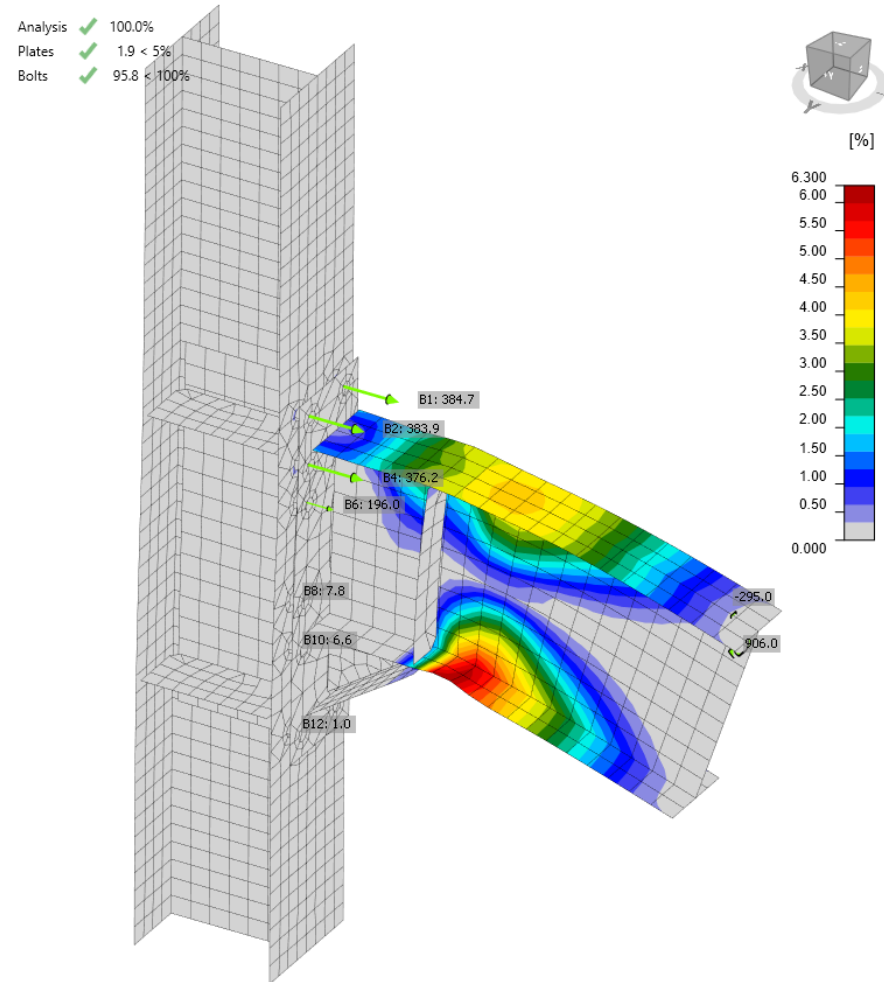


Extended unstiffened
end-plate



Reduced beam section

Haunched joint

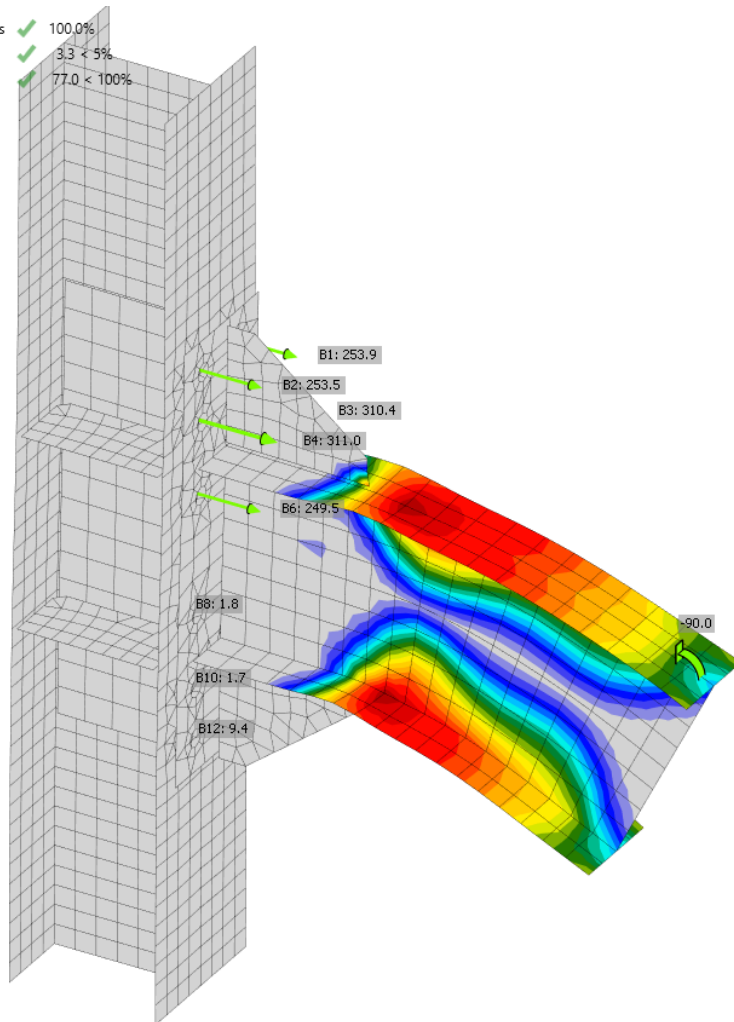


Connection – plná únosnost
Column web panel – plná únosnost



Stiffened extended end-plate

Analysis ✓ 100.0%
Plates ✓ 3.3 < 5%
Bolts ✓ 77.0 < 100%



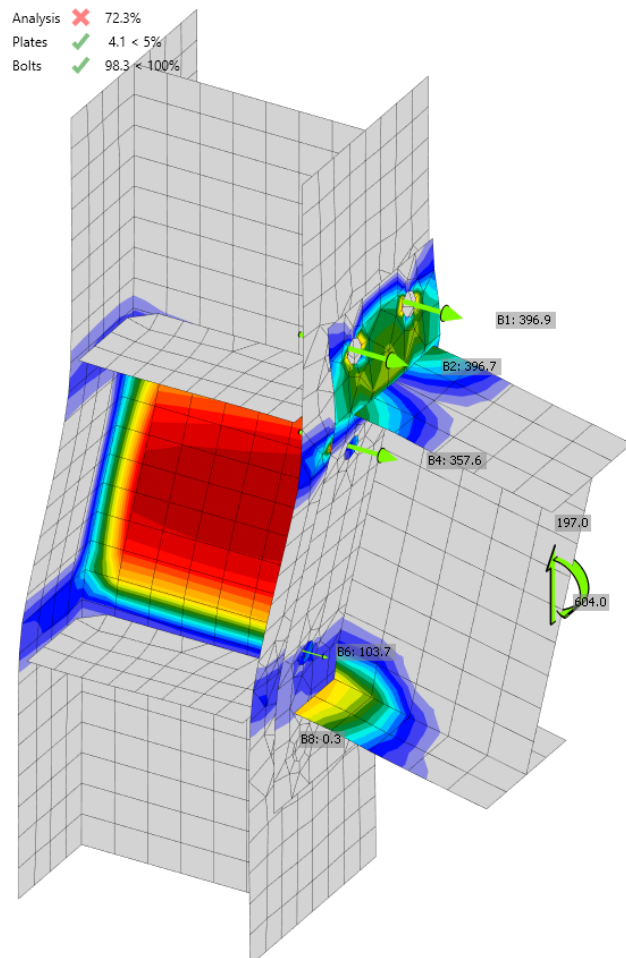
Connection – plná nebo srovnatelná únosnost
Column web panel – plná nebo srovnatelná únosnost



Unstiffened extended end-plate

Connection – srovnatelná nebo částečná únosnost

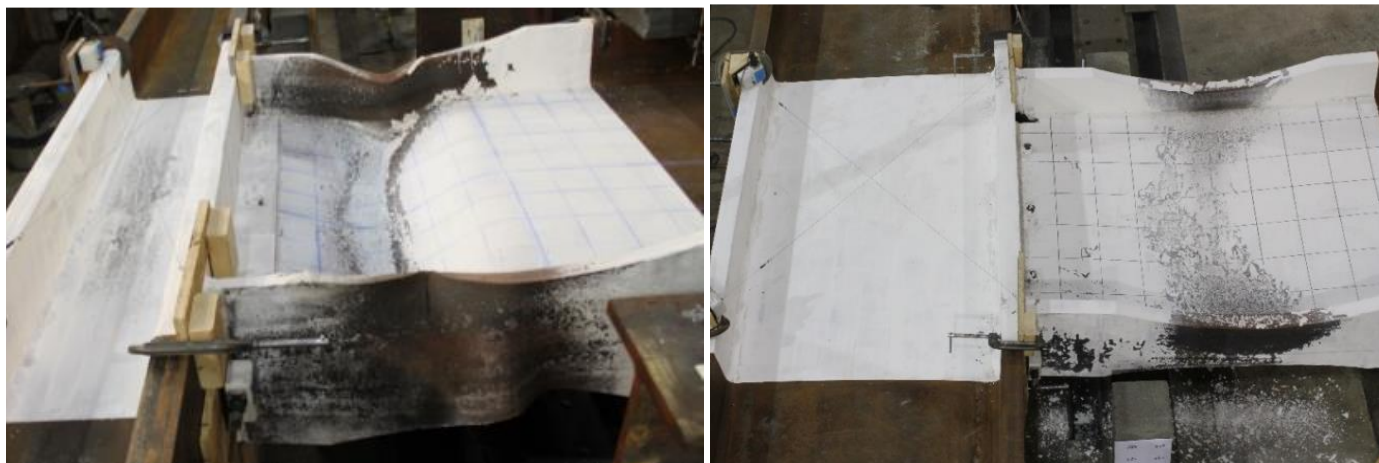
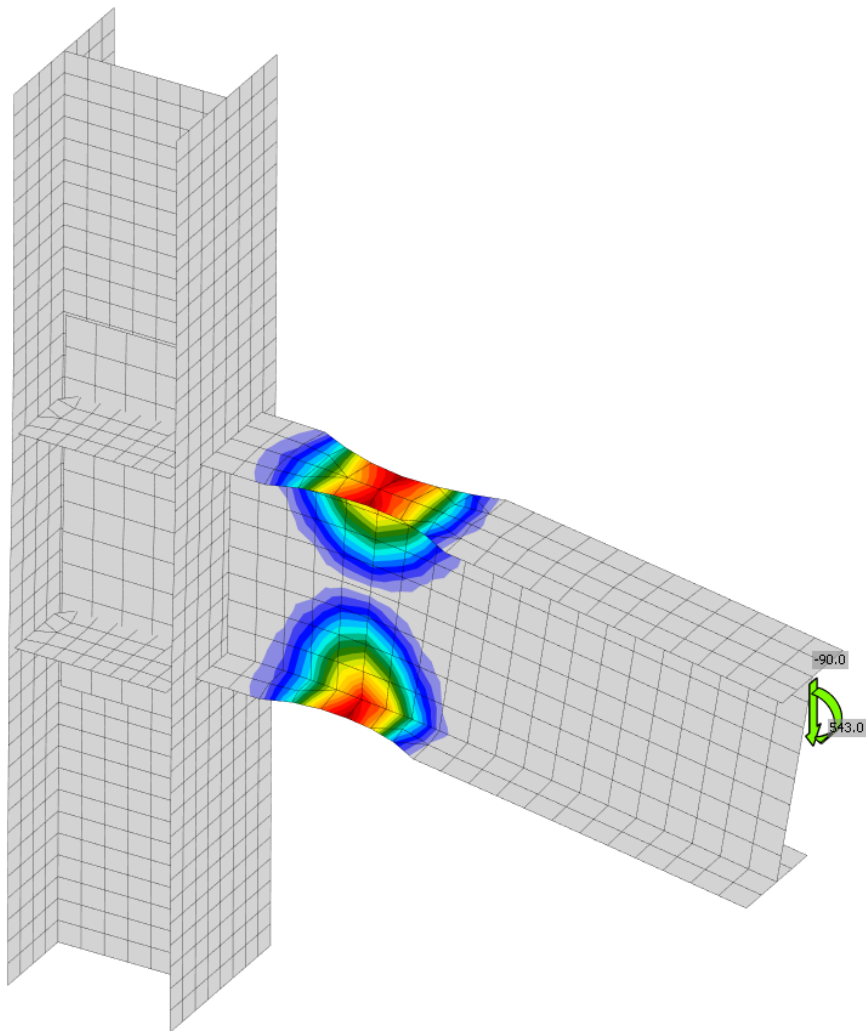
Column web panel – srovnatelná nebo částečná únosnost



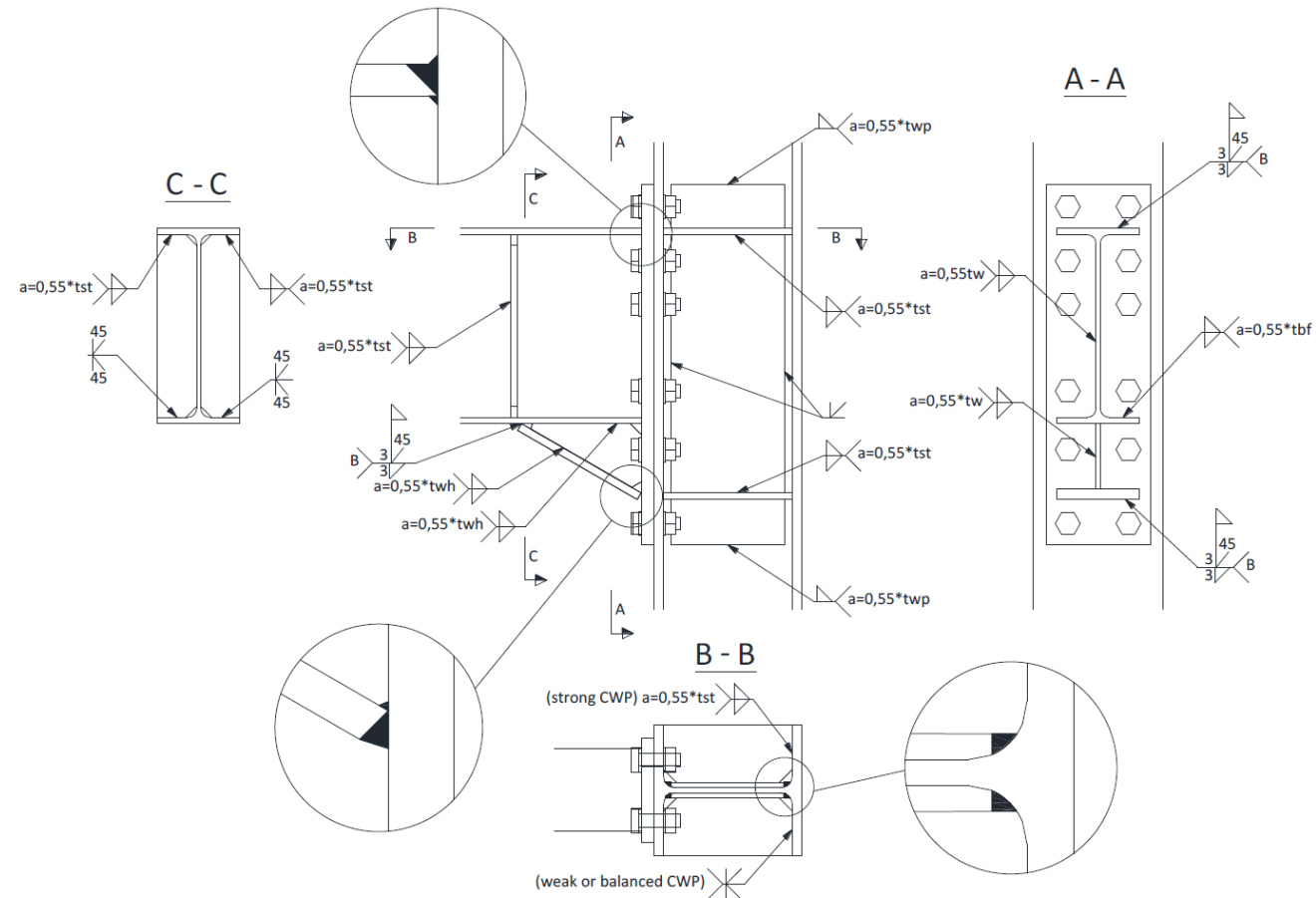
Dog bone joint

Connection – plná únosnost

Column web panel – plná únosnost



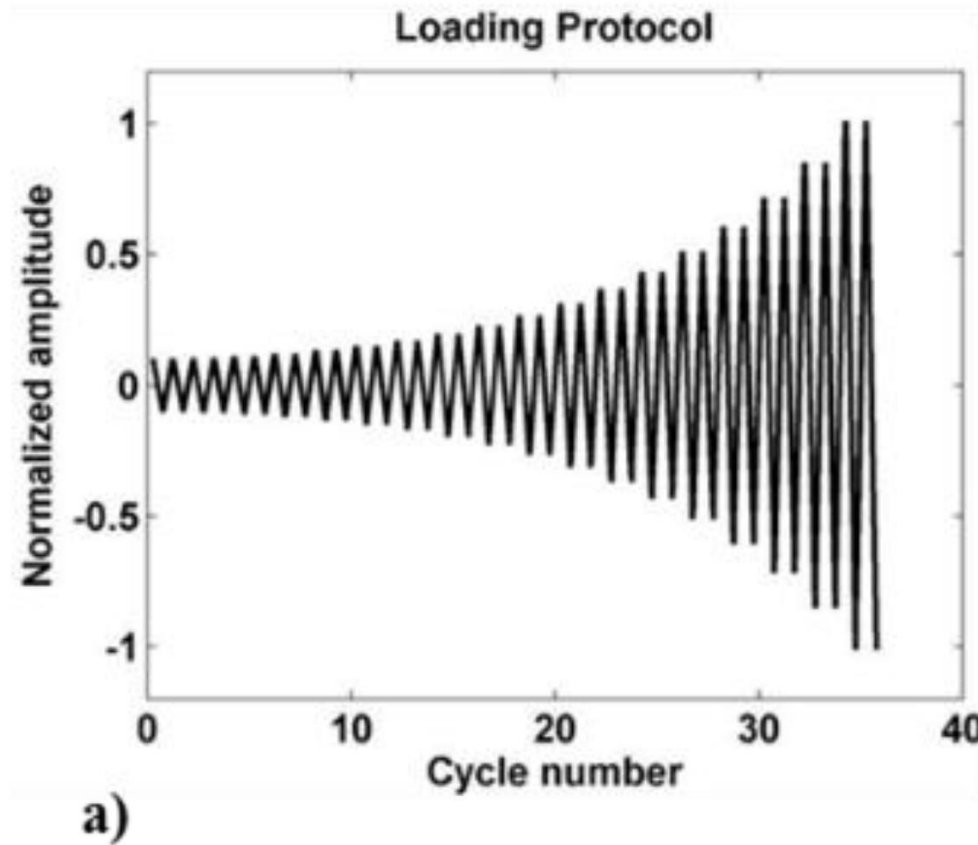
Svary



NOTE:

1. All full-penetration welds shall be quality level B acc. EN ISO 5817 and EN 1090-2:2008.
2. All welds shall be quality level C unless otherwise specified on drawings.

Experimenty



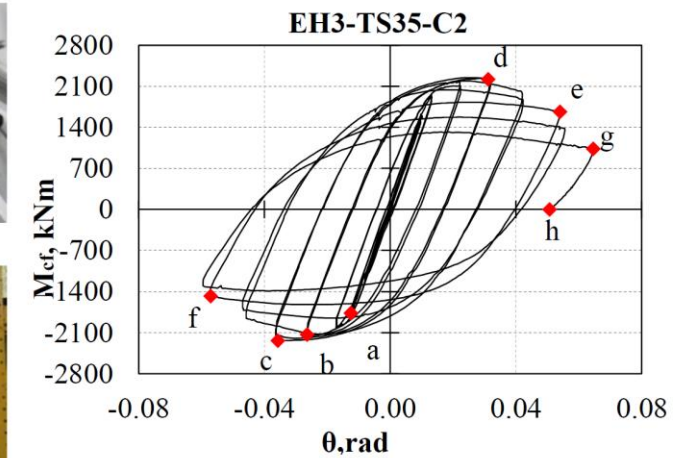
(a)



(b)



(c)



(h)



(g)



(d)



(e)



(f)



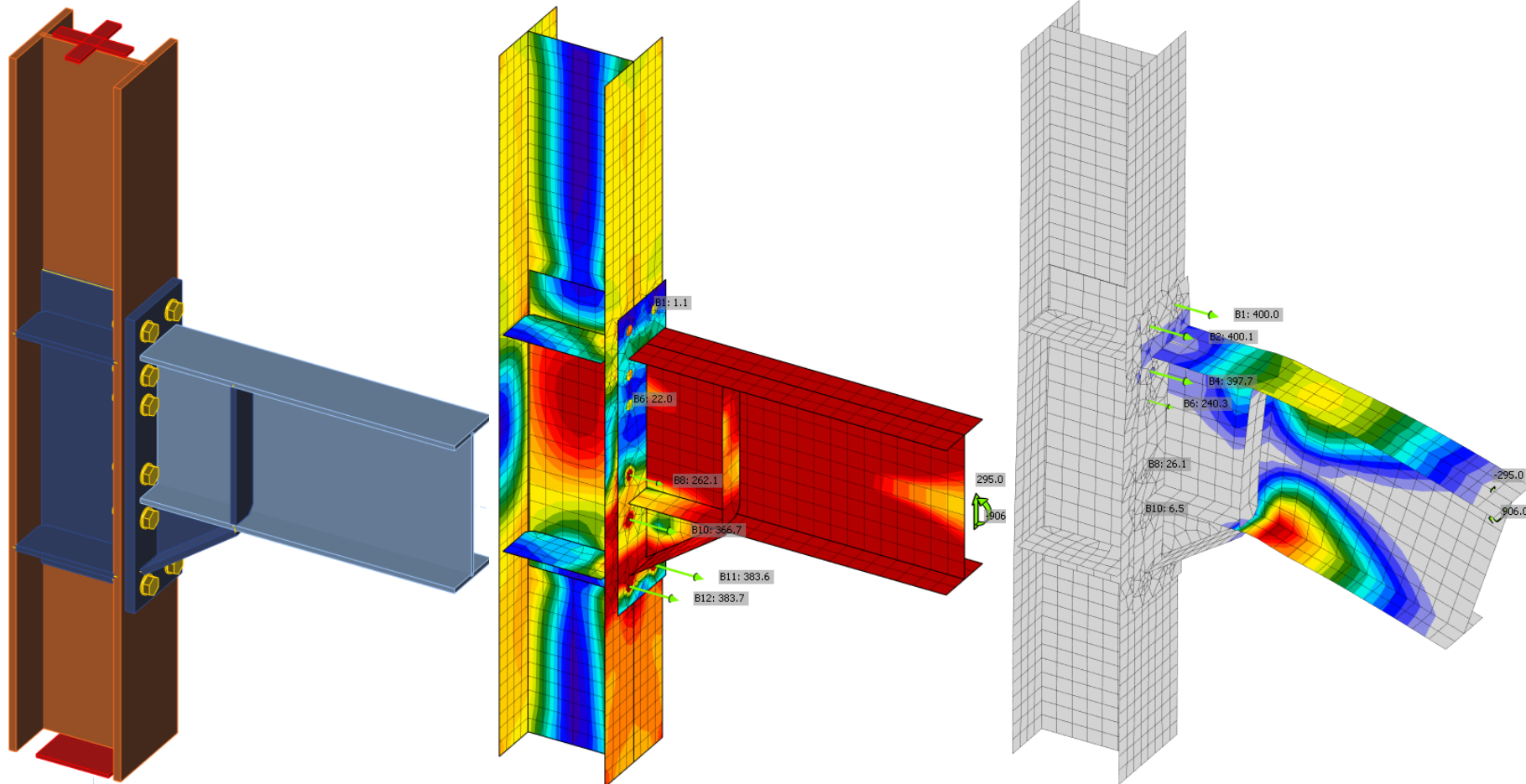
https://youtu.be/WPr4P_yKsuw



Demonstrace

IDEA StatiCa®

Calculate yesterday's estimates



Závěr

- Zemětřesení je nebezpečné na styku litosférických desek
- Návrh budovy:
 - Ověřený konstrukční systém
 - Silné sloupy + „slabé“ nosníky
 - Ověřené styčníky
 - Návrh na účinky zemětřesení + kapacitní návrh

Použitá literatura

EN 1998-1: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

https://cs.wikipedia.org/wiki/Zem%C4%9Bt%C5%99esen%C3%AD_v_Turecku_a_S%C3%BDrii_2023

Jan Zedník: Zemětřesení. https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2020/11/brozura_zemetreseni.pdf

<https://www.ideastatica.com/support-center/seismic-analysis-in-idea-statica-connection>

Rafael Sabelli https://www.youtube.com/watch?v=oFSH4qj637w&t=2709s&ab_channel=AISCeducation

Aurel Stratan http://steel.fsv.cvut.cz/EQUALJOINTS/190620_1-Aurel_tr_analysis_equaljoints_praga.pdf

https://www.youtube.com/watch?v=pTYUbpyvCxU&ab_channel=JacobsSchoolNews

<http://steel.fsv.cvut.cz/EQUALJOINTS/index.htm>

<https://www.steelconstruct.com/eu-projects/equaljoints/>