

VII. Interakce konstrukce a podloží

1. Podstata interakce
2. Zeminy při dynamickém zatížení
3. Výpočetní modely
4. Příklady



1. Podstata interakce

DSSI – **D**ynamic **S**oil – **S**tructure **I**nteraction

Interakce (spolupůsobení) konstrukce a podloží
při dynamickém zatížení

= odezva společného systému konstrukce + podloží na
dynamické zatížení

- zemětřesení
- kmitání strojů

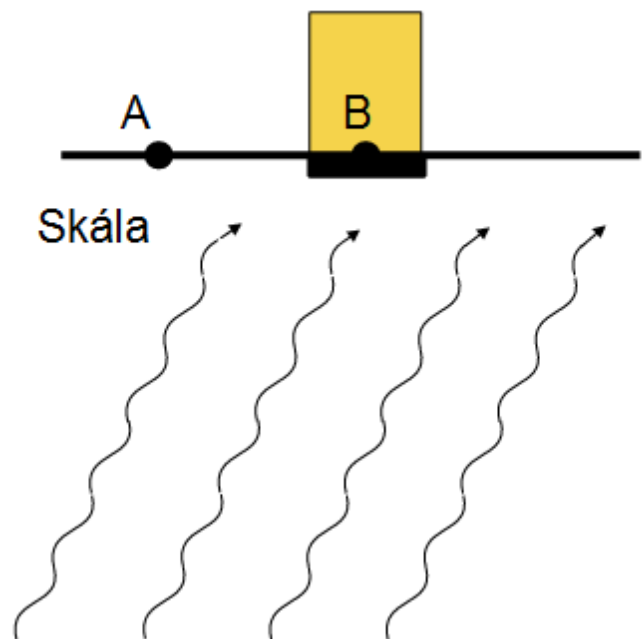
2 základní případy podloží – z hlediska tuhosti

- a) skalní (tuhé) podloží – konstrukce a podloží se vzájemně neovlivňují
- b) poddajné podloží (zemina) – konstrukce a podloží se vzájemně ovlivňují



1. Podstata interakce

Tuhé (skalní) podloží



Konstrukce **neovlivňuje** dynamické zatížení, zatížení na volném povrchu (bod A) a v základech konstrukce (bod B) je stejné

Ize modelovat tuhé uložení konstrukce v základové spáře

Podmínka pro skalní podloží:

rychlost smykových vln

$$v_s > 1100 \text{ m/s}$$

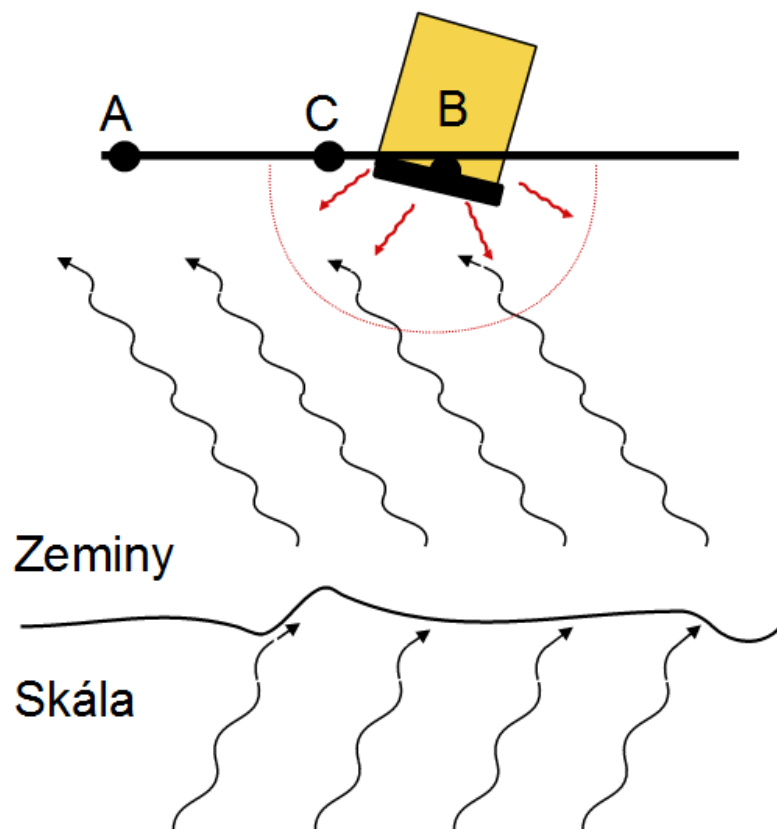
(American seismic code for nuclear structures)

$$v_s > 20 f H \quad \begin{array}{l} H \text{ výška konstrukce} \\ f \text{ zákl. frekvence konstr.} \end{array}$$

(Dowrick)

1. Podstata interakce

Poddajné podloží – vrstva na skalním podloží



Seismické vlny jsou modifikovány poddajným podložím i konstrukcí – zatížení na povrchu (bod C) je odlišné od zatížení v základech (bod D) a samozřejmě i od zatížení na volném povrchu (bod A)

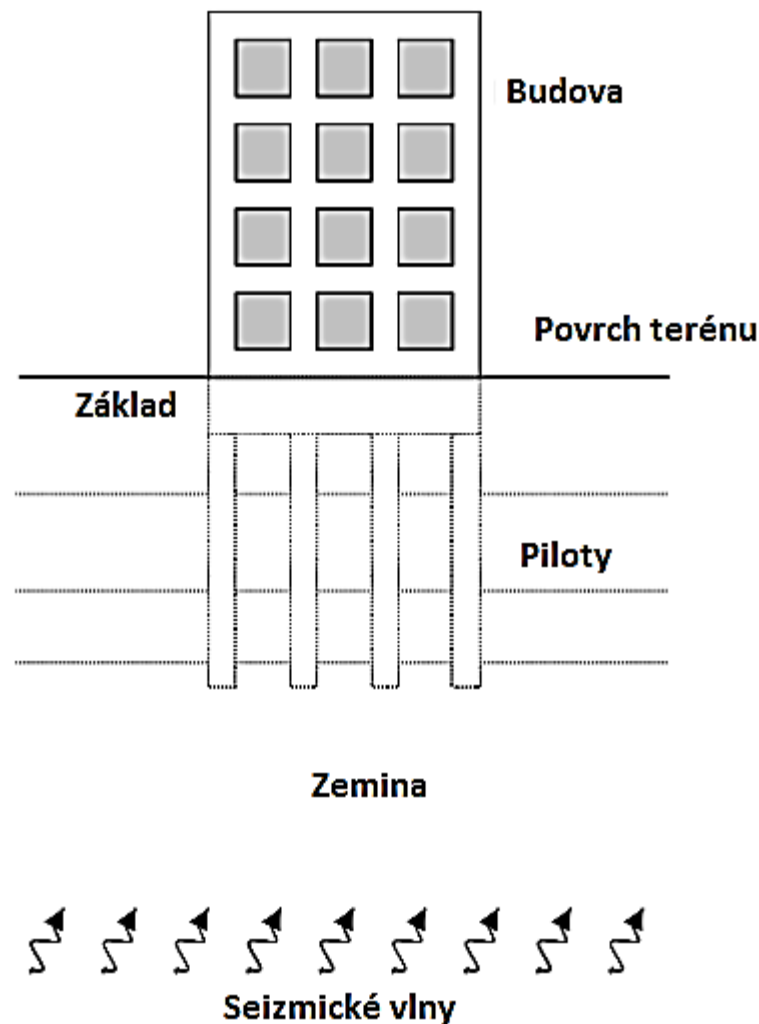
Konstrukce a podloží se vzájemně **ovlivňují**
- části nelze od sebe oddělit

1. Podstata interakce

Při dynamickém zatížení (seizmicita, stroje ...) se rozkmitá konstrukce, základ i okolní zemina a navzájem se začnou ovlivňovat – je nutné uvážit vzájemné spolupůsobení, **interakci**.

Odezva je určována dynamickými vlastnostmi:

- podloží
- základu
- konstrukce

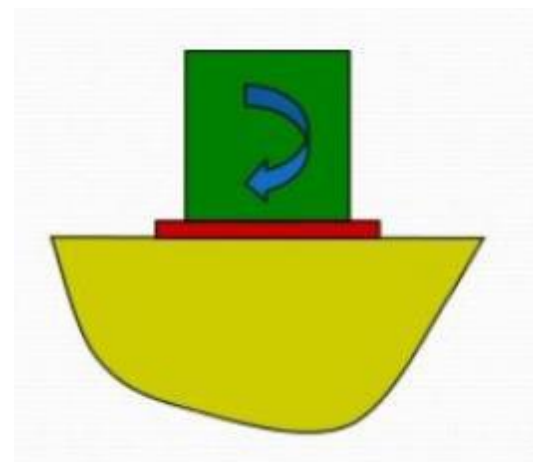


1. Podstata interakce

Mechanismy interakce mezi konstrukcí a podložím

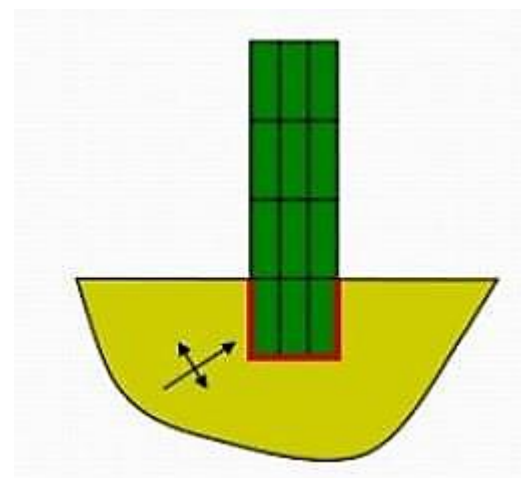
a) setrvačná interakce

– setrvačné síly vyvolané kmitáním konstrukce zvyšují celkové síly a momenty v základové konstrukci a tak způsobují posuny a rotace v základech



b) kinematická interakce

– základová konstrukce je příčinou změny zatížení pod základem ve srovnání se zatížením na volném povrchu (lom, odraz vln apod.)



1. Podstata interakce

Mechanismy interakce mezi konstrukcí a podložím

kinematická interakce

E_0 – seismické vlny

F_0 – vlny odražené

(od základu do podloží)

E_1 – vlny prostupující

(do konstrukce)

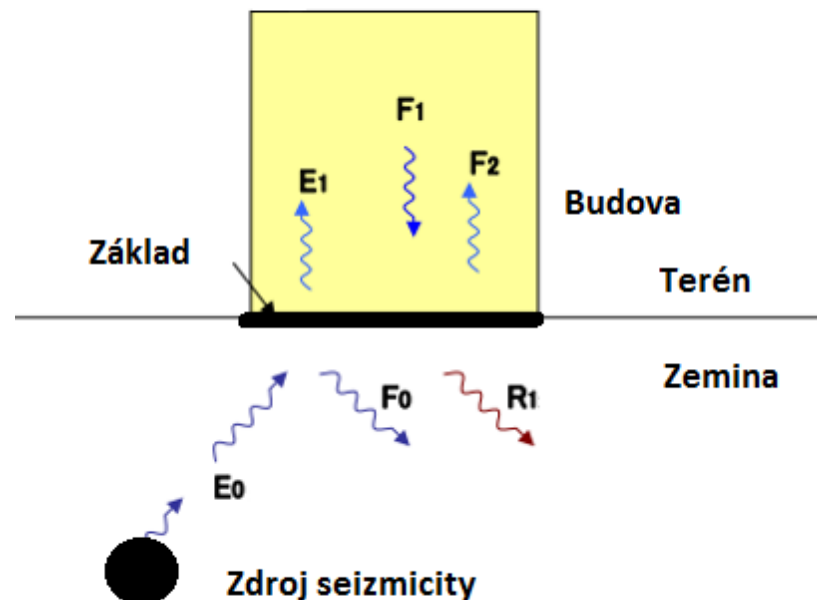
F_1 – vlny zpětné

(odražené od vrchu konstrukce)

F_2 – vlny odražené

(od základu zpět do konstrukce)

R_1 – vlny vyzářené (do podloží)



$$(E_0 = F_0 + E_1)$$

$$(F_1 = F_2 + R_1)$$

1. Podstata interakce

Důsledky dynamické interakce

- změna vstupního zatížení
(většinou zvětšení zatížení, další složky např. rotační)
- větší poddajnost celého systému, snížení vlastní frekvence
- zvýšení celkového útlumu (geometrický útlum v podloží)



2. Zeminy při dynamickém zatížení

Charakteristiky zemin

- objemová hmotnost
- tuhost
- materiálový útlum
- pevnost
- degradace při cyklickém zatížení

Dynamika zemin

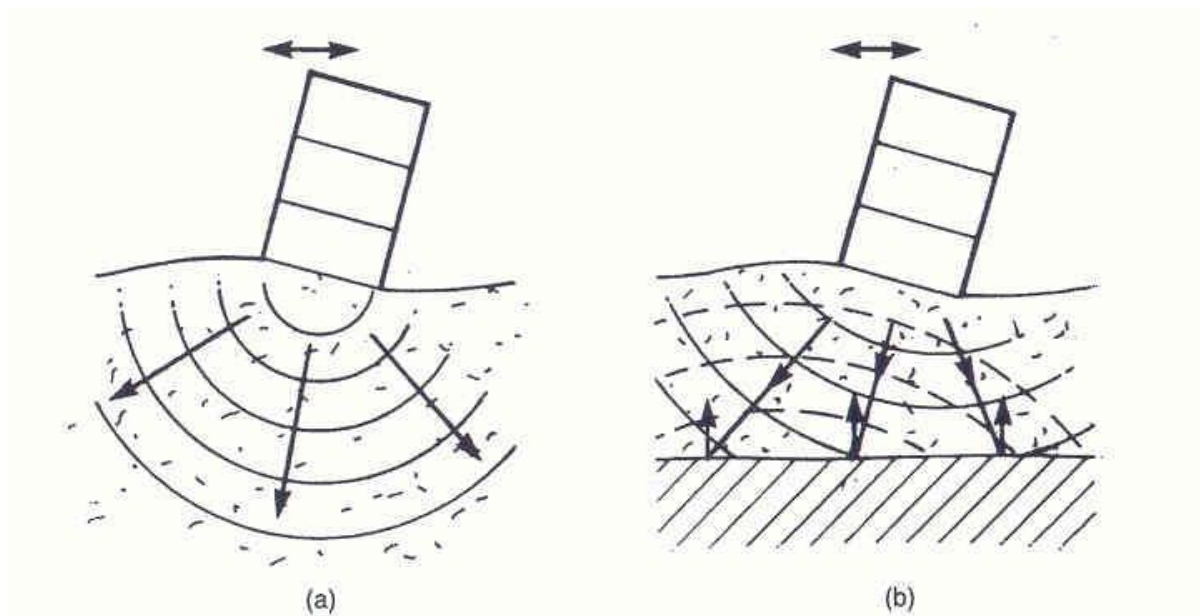
- polonekonečné prostředí
- fiktivní hranici lze s jistotou umístit dostatečně daleko jen ve statických úlohách
- v dynamice hrozí odraz vln na nepropustné hranici
- projevuje se vliv **geometrického** (radiačního) **útlumu**, tj. ztráta energie v důsledku šíření vln v prostředí



2. Zeminy při dynamickém zatížení

Geometrický (radiační) útlum

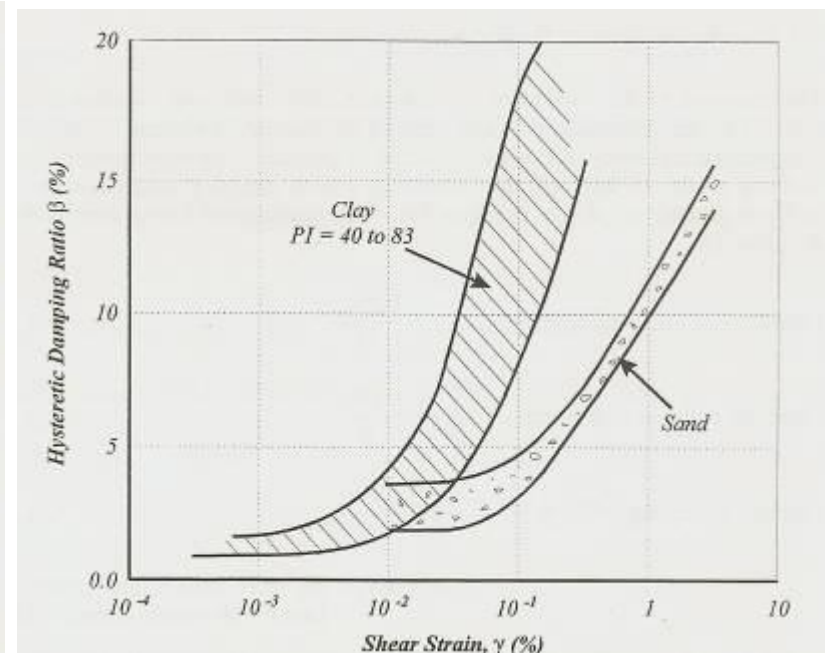
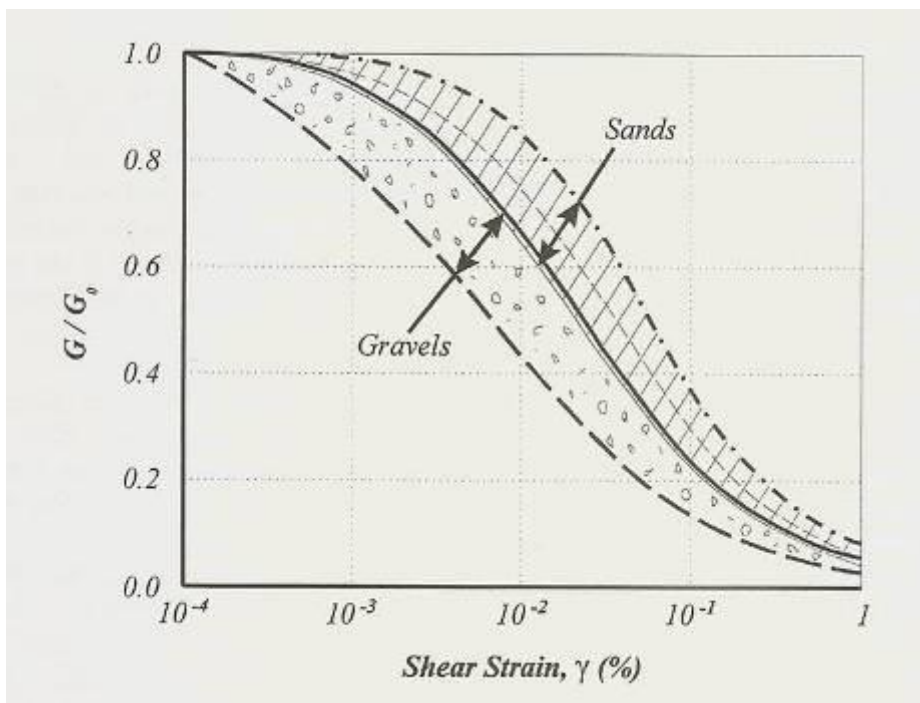
- tvoří značnou část celkového útlumu v podloží
- je frekvenčně závislý



- vliv tuhého (skalního) podloží v malé hloubce pod povrchem způsobuje snížení geometrického útlumu (b) (odraz vlnové energie na hranici)

2. Zeminy při dynamickém zatížení

Vlastnosti zemin – obecně jsou závislé na deformaci
smykový modul **klesá** se zvyšující se poměrnou deformací
materiálový útlum **roste** se zvyšující se poměrnou deformací



smykový modul vs. poměrná deformace

materiálový útlum vs. poměrná deformace

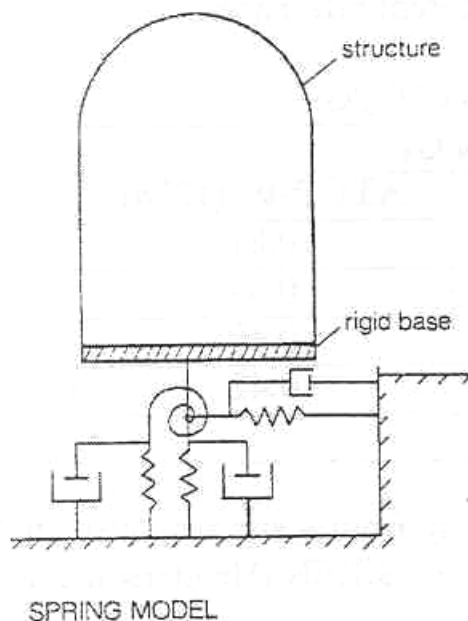
3. Výpočetní modely

1. Lineární pružiny

2. Frekvenčně závislé pružiny

v obou případech se předpokládá:

- tuhá základová deska kruhového tvaru
- pružný (vrstevnatý) poloprostor
- podloží charakterizováno parametry tuhosti a útlumu



FOUNDATION
IMPEDANCES

SPRING
STIFFNESS

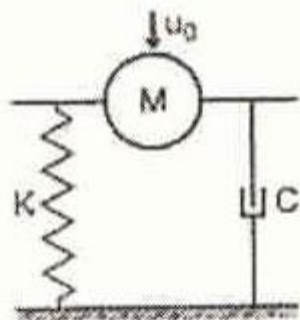
FREQUENCY

DAMPING
VALUE

FREQUENCY

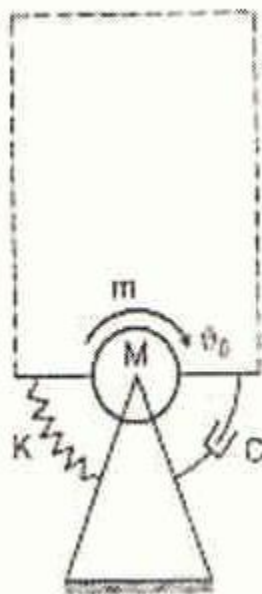
frekvenční závislost
tuhosti a útlumu

3. Výpočetní modely



Kmitání

- ve směru svislém
- ve směru vodorovném
- otáčivé kolem vodorovné osy
- otáčivé kolem svislé osy



$$C = \frac{r_0}{v_s} \gamma K \quad M = \left(\frac{r_0}{v_s} \right)^2 \mu K$$

$$v_s = \sqrt{G/\rho}$$

r_0 - poloměr základové desky

G - smykový modul podloží

ρ - objemová hmotnost podloží

3. Výpočetní modely

Statická tuhost K a koeficienty útlumu γ a hmotnosti μ

	Static Stiffness K	Dimensionless Coefficients of Dashpot γ	Mass μ
směr vodorovný	$\frac{8Gr_0}{2-\nu}$	0.58	0.095
směr svislý	$\frac{4Gr_0}{1-\nu}$	0.85	0.27
otáčení kolem vodorovné osy	$\frac{8Gr_0^3}{3(1-\nu)}$	$\frac{0.3}{1 + \frac{3(1-\nu)m}{8r_0^5\rho}}$	0.24
otáčení kolem svislé osy	$\frac{16Gr_0^3}{3}$	$\frac{0.433}{1 + \frac{2m}{r_0^5\rho}} \sqrt{\frac{m}{r_0^5\rho}}$	0.045

ν – Poissonovo číslo podloží

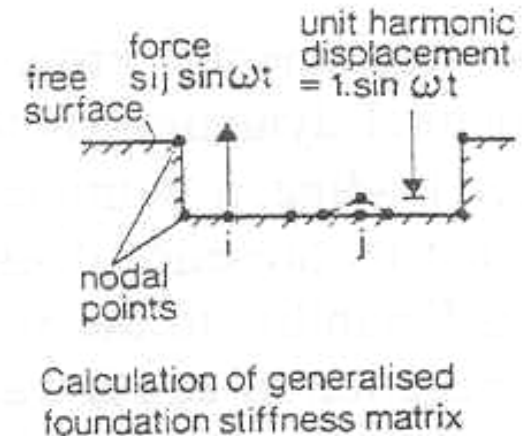
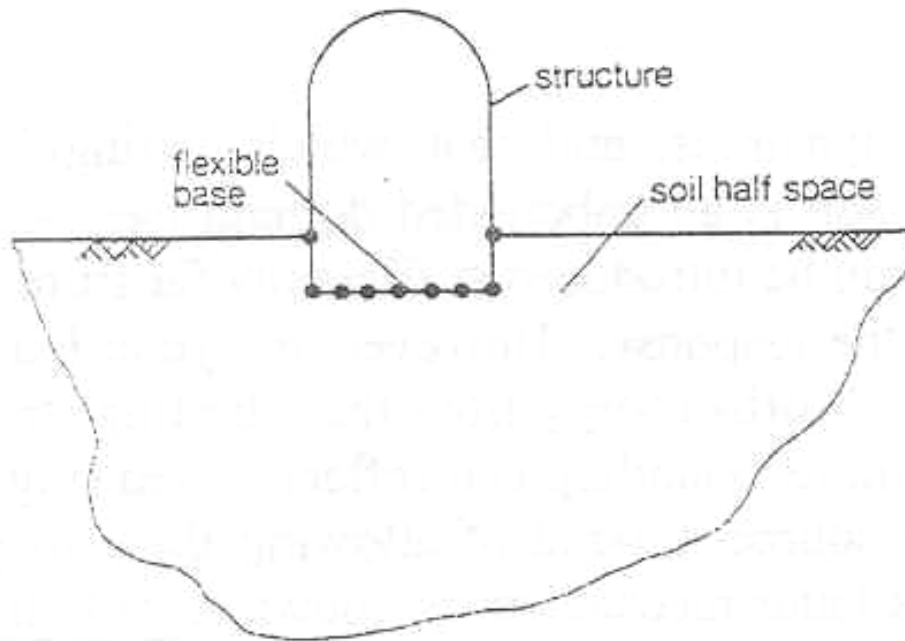
m – hmotný moment setrvačnosti základové desky



3. Výpočetní modely

3. Impedanční funkce

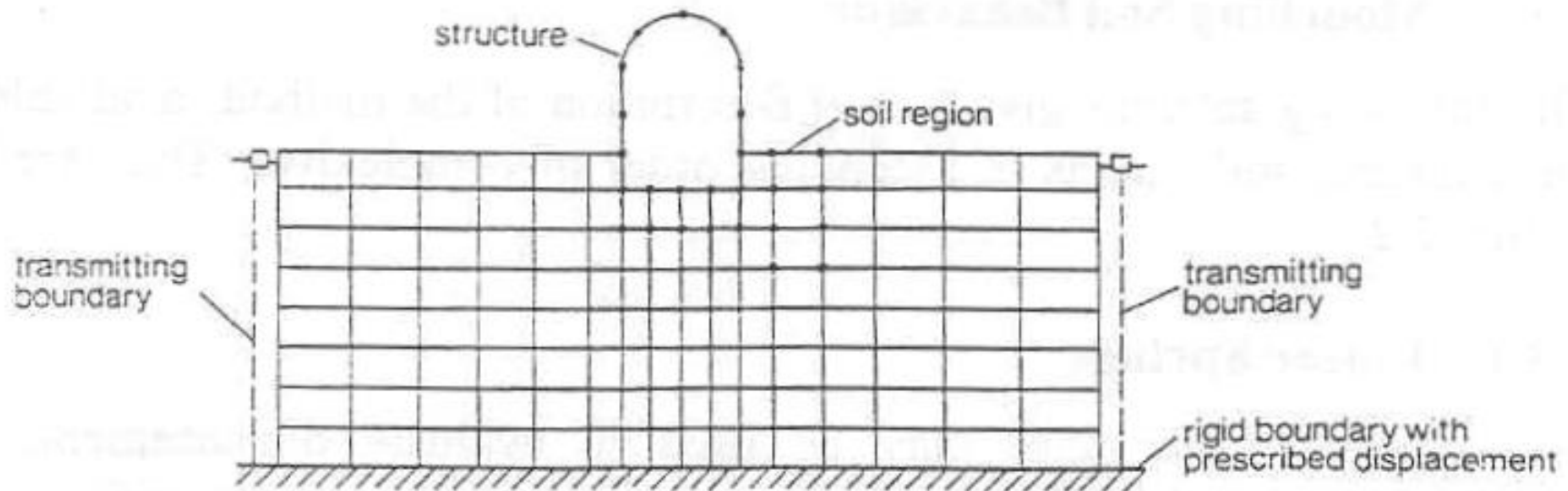
- zobecnění pro poddajnou desku obecného tvaru
- vrstevnaté podloží typu poloprostor
- frekvenčně závislé dynamické charakteristiky podloží v místě na kontaktu s konstrukcí



3. Výpočetní modely

4. MKP modely

- obecně nelineární modely
- možnost modelování ve 3-D
- obvykle spodní hranice pevná, boční hranice umělé (propustné)



3. Výpočetní modely

4. MKP modely

a) přímé řešení

- konstrukce a podloží se modeluje jako jeden celek
- možnost modelovat libovolné systémy z hlediska tvaru a materiálu (nelineární vlastnosti)
- nutnost správného modelování okrajových podmínek (pevná vs. propustná hranice)

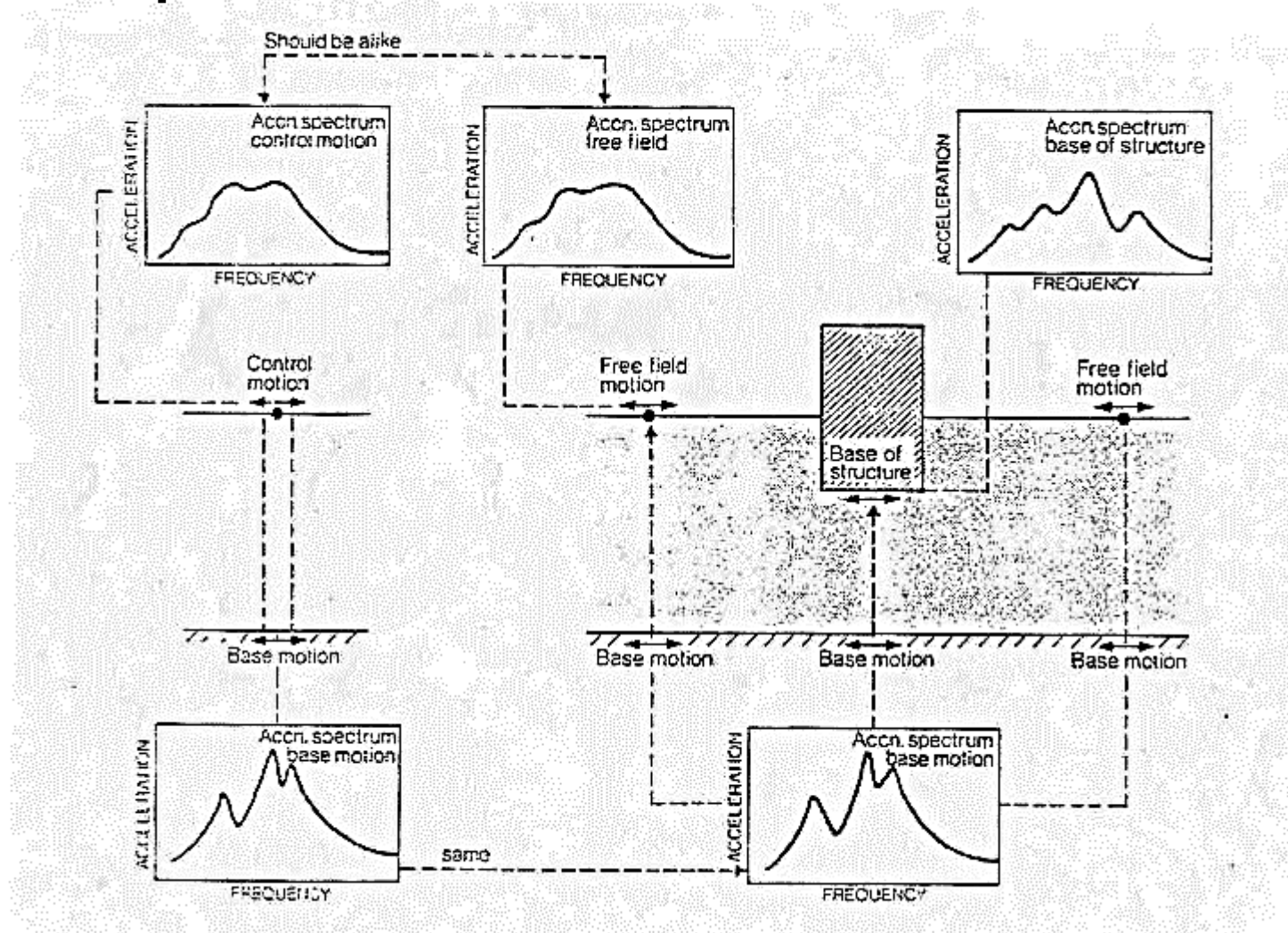
b) metoda subkonstrukcí

1. řešení odezvy podloží na seizmické zatížení - kinematická interakce - určení posunutí na hranici s konstrukcí
2. stanovení impedančních funkcí
3. řešení odezvy konstrukce s frekvenčně závislým podepřením (viz 2) na seizmické zatížení (viz 1) – setrvačná interakce užití principu superpozice – omezení na lineární systémy



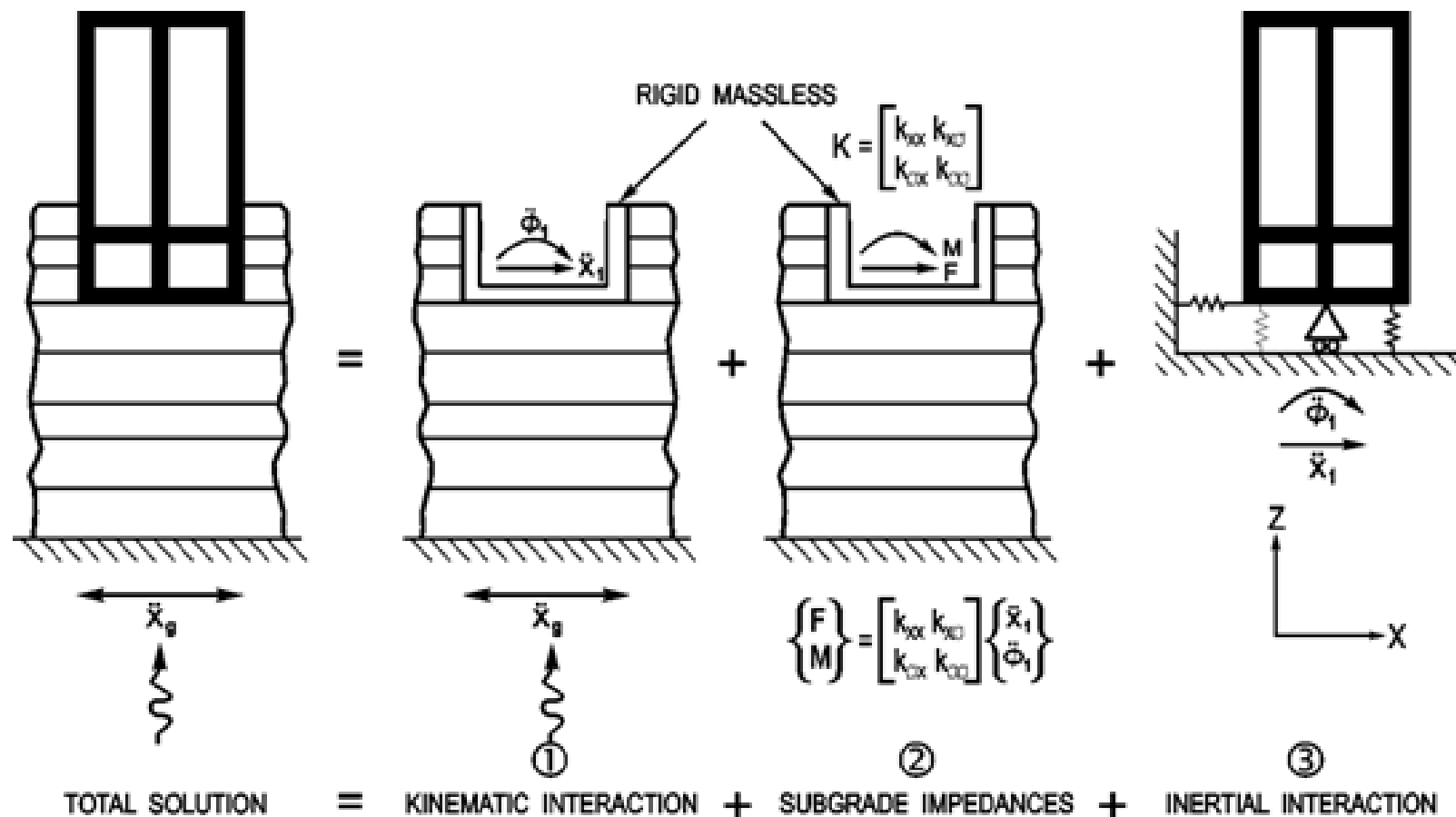
3. Výpočetní modely

4. MKP – přímé řešení



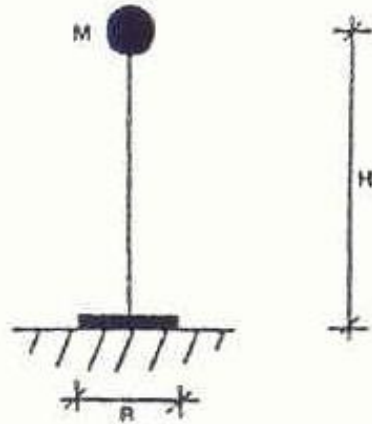
3. Výpočetní modely

4. MKP – metoda subkonstrukcí



4. Příklady

4.1 Vliv tuhosti podloží



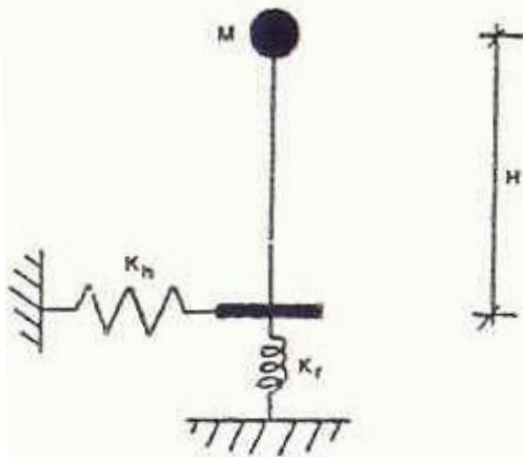
$$\text{Mas: } (M) = 1 \times 10^6 \text{ kg}$$

$$\text{Stiffness } (K) = 2.5 \times 10^{10} \text{ N/m}$$

$$\text{Height } (H) = 15 \text{ m}$$

$$\text{Radius } (R) = 20 \text{ m}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} = 2.5 \text{ Hz}$$



$$K_R = \frac{8GR^3}{3(1-\nu)} = 9.1 \times 10^{11} \text{ Nm/rad}$$

$$K_H = \frac{8GR}{2-\nu} = 2.8 \times 10^9 \text{ N/m}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{M}{K_H} + \frac{H^2 M}{K_R} + \frac{M}{K}}} = 0.63 \text{ Hz}$$

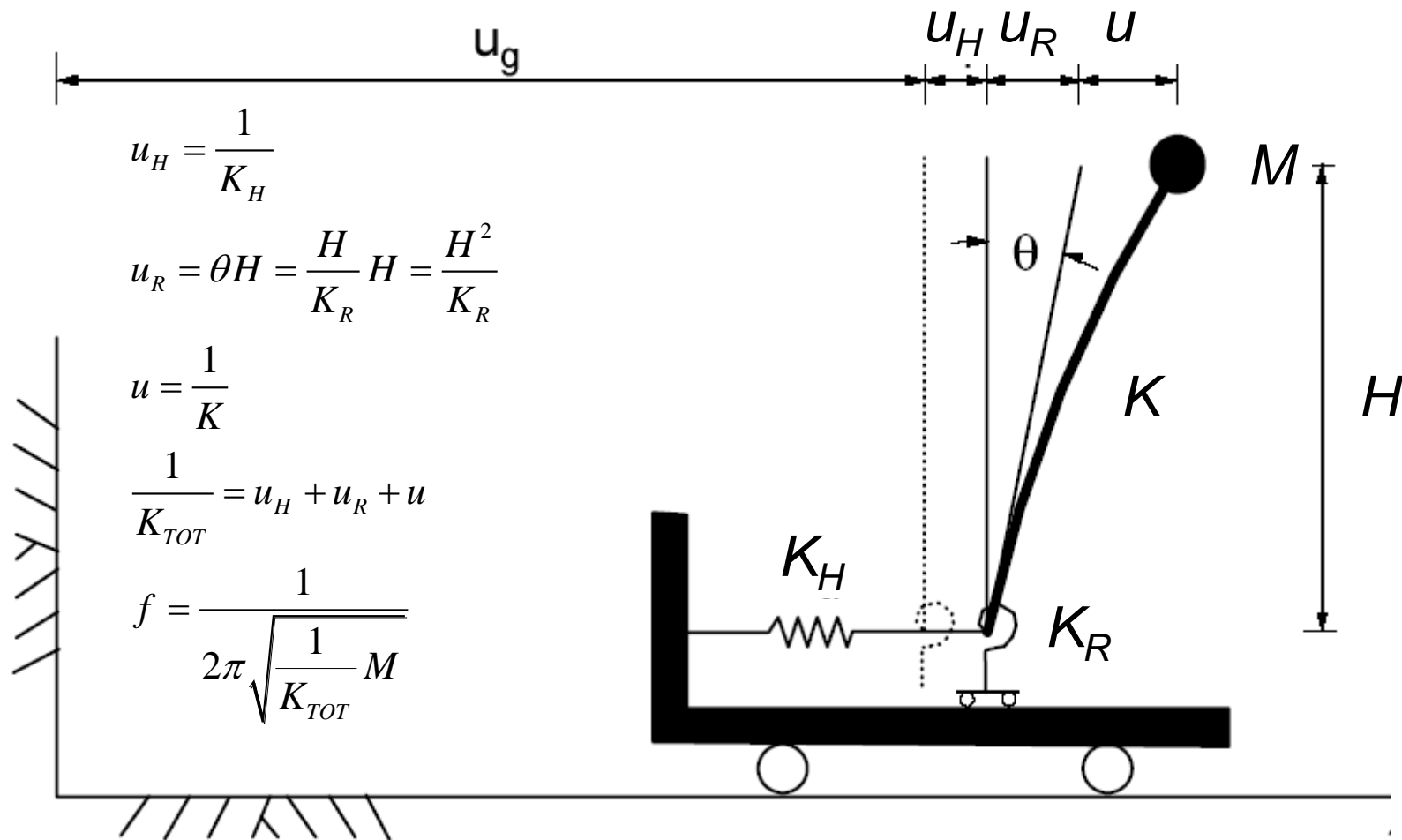
Podloží:

G = 30 MPa

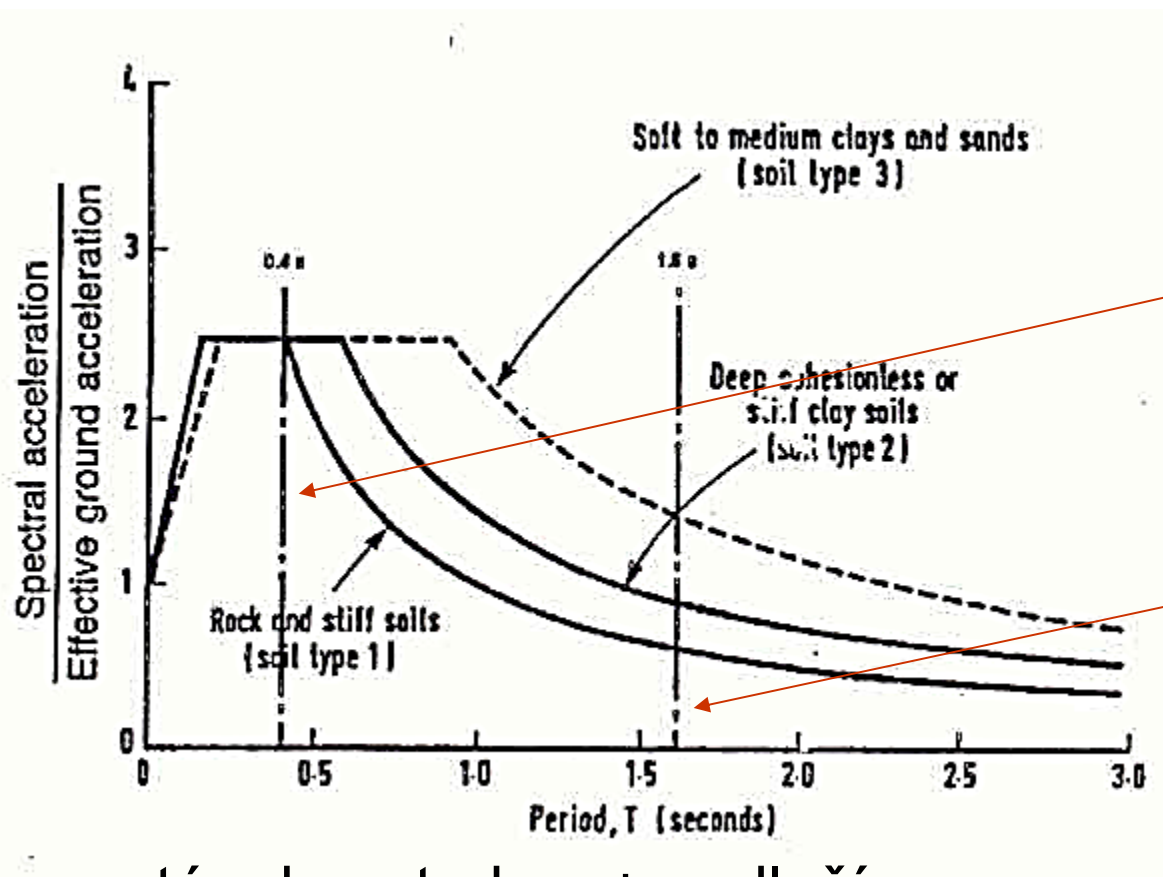
$\nu = 0.3$



4. Příklady



4. Příklady



$$f = 2,5 \text{ Hz}$$

$$T = 0,4 \text{ s}$$

$$f = 0,63 \text{ Hz}$$

$$T = 1,6 \text{ s}$$

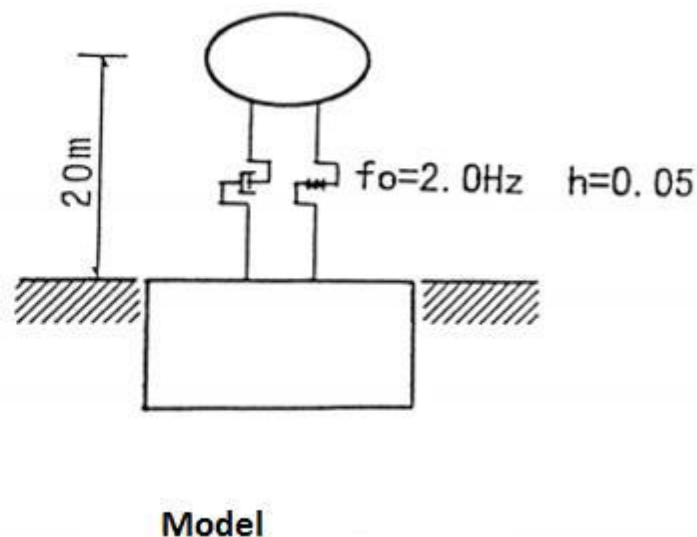
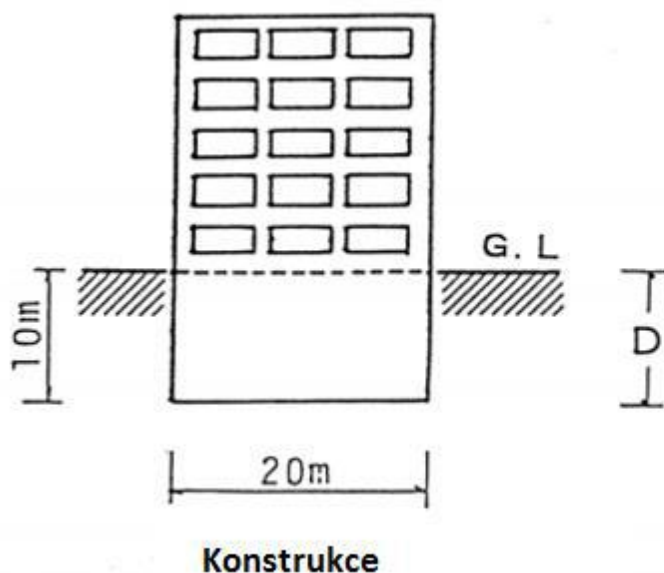
system konstrukce + podloží:

- nižší seizmické zatížení pro vyšší periodu (+)
- větší útlum systému díky podloží (+)
- větší absolutní posunutí díky poddajnosti podloží (-)



4. Příklady

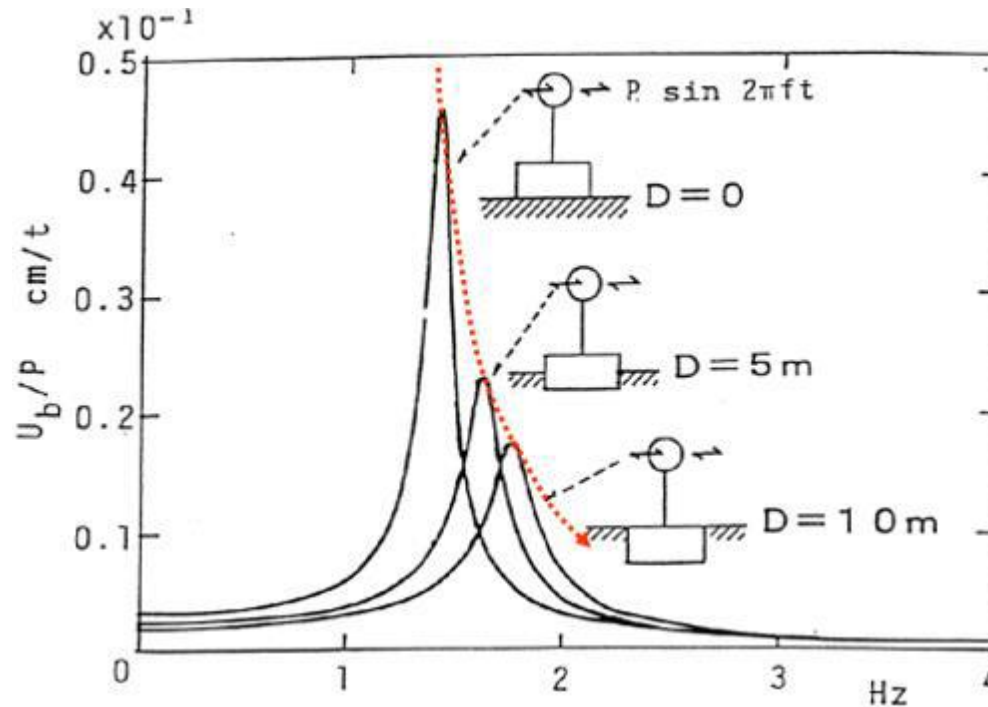
4.2 Vliv hloubky založení D



vetknutý tuhý základ, homogenní poloprostor

- vlastní frekvence konstrukce = 2 Hz (bez vlivu podloží)
- poměrný útlum 5 %

4. Příklady



rezonanční křivka pro vodorovný posun vrcholu budovy

- vlastní frekvence systému konstrukce + podloží < 2 Hz (snížení tuhosti)
- s růstem D roste vlastní frekvence (zvýšení tuhosti)
- s růstem D klesá amplituda (zvýšení poměrného útlumu)