



## Úloha 3: Železobetonový sloup

# Posouzení průřezu namáhaného kombinací M+N

Prezentace k cvičení z předmětu NNKB (Štefan)

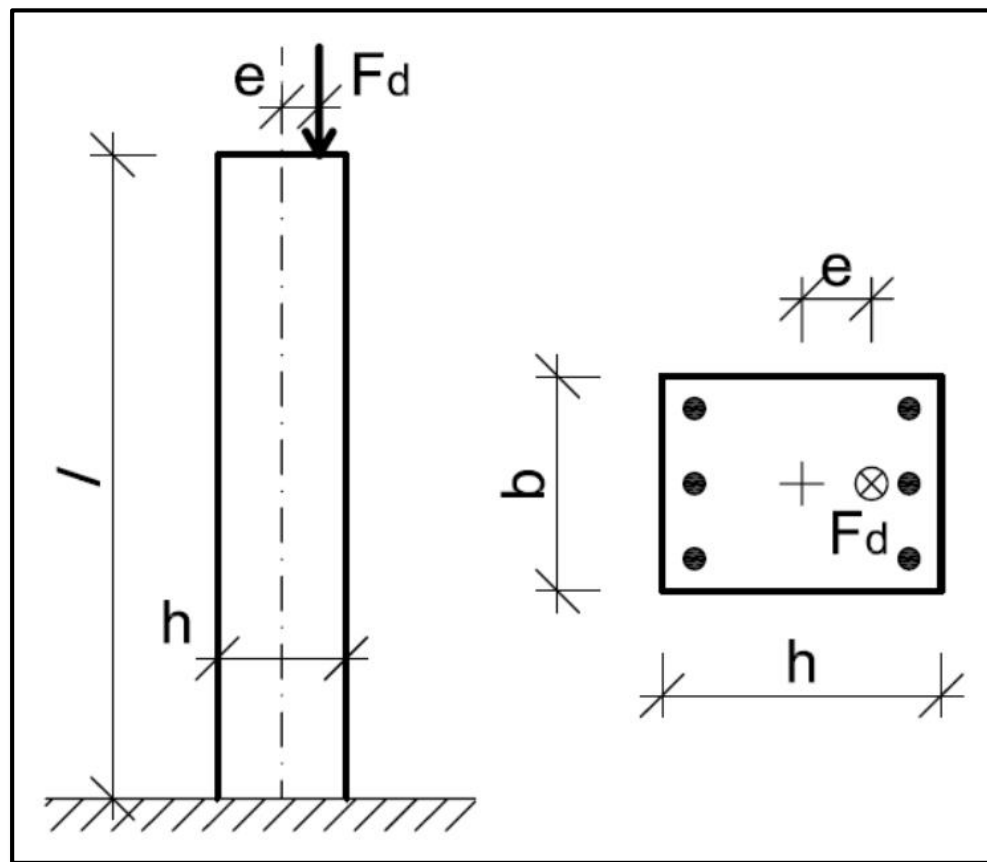
# Náplň prezentace

V této prezentaci je popsán postup posouzení průřezu namáhaného kombinací normálové síly a ohybového momentu.

# Zadání Úlohy 3

# Zadání Úlohy 3

Železobetonový sloup zatížený excentricky\* působící normálovou silou.



# Zadání Úlohy 3

Pro zadaný železobetonový sloup o rozměrech  $b \times h \times l$  zatížený normálovou silou  $F_d$  na rameni  $e$  navrhněte výztuž a průřez sloupu s výztuží posuďte pomocí interakčního diagramu.

$$b = \dots \text{ mm}$$

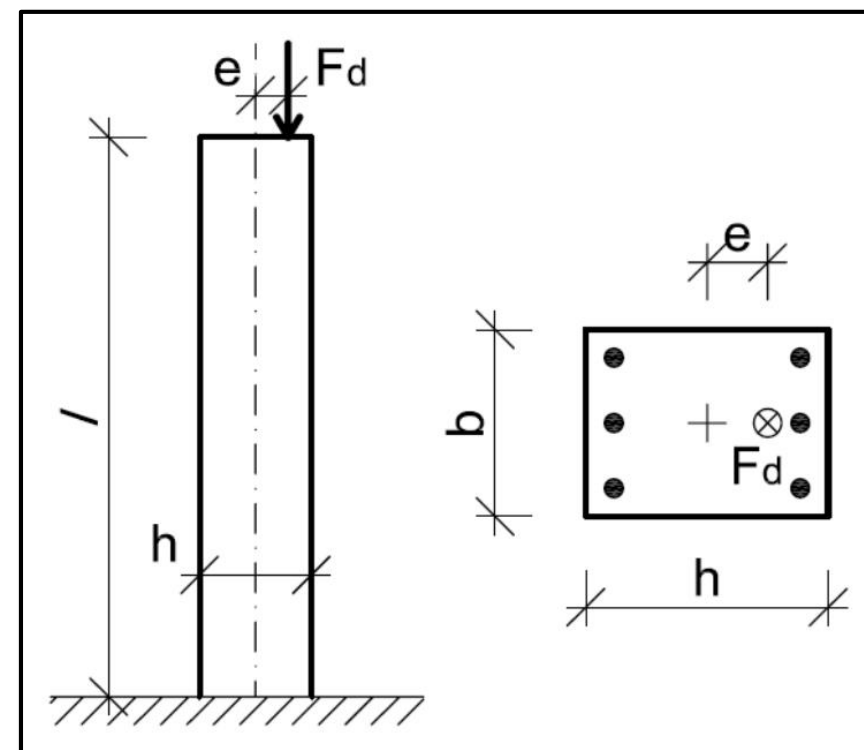
$$h = \dots \text{ mm}$$

$$l = \dots \text{ mm}$$

$$F_d = \dots \text{ kN}$$

$$e = \dots \text{ mm}$$

Materiály a tloušťku krycí vrstvy uvažujeme shodné jako v úloze 2.



# Zadání Úkolu 3.2

# Zadání Úkolu 3.1

Naším úkolem je

- posoudit, zda průřez s navrženou výztuží vyhovuje pro zadané namáhání od zatížení (normálovou sílu a ohybový moment) – tj. zda nedojde ke kolapsu.

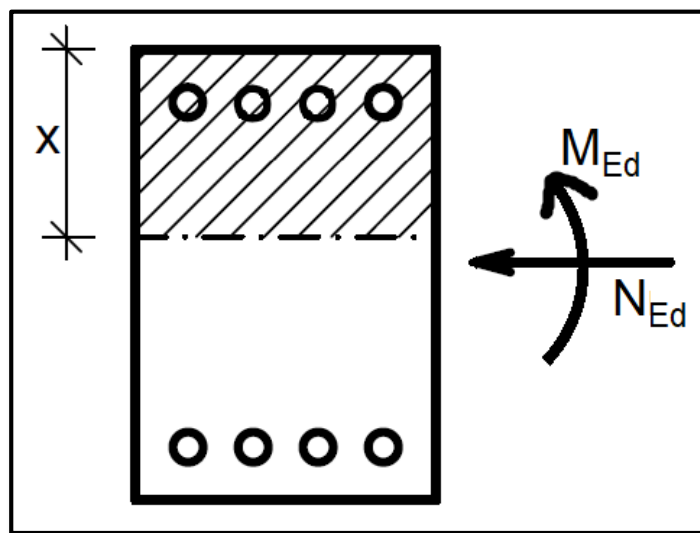
# Posouzení průřezu namáhaného $M + N$

Obecný přístup k posuzování



# Posouzení průřezu namáhaného $M + N$

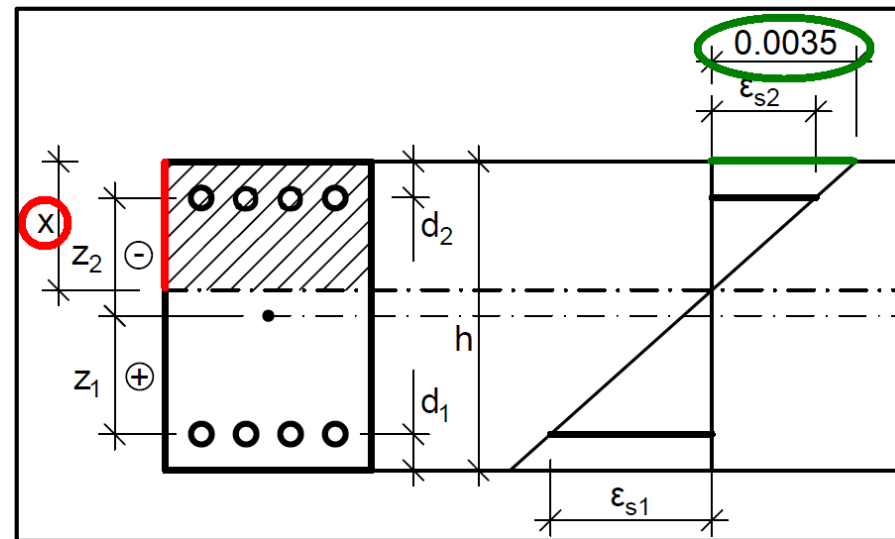
V zadání máme zadaný průřez namáhaný normálovou silou na excentricitě – tj. průřez namáhaný kombinací normálové síly  $N_{Ed}$  a ohybového momentu  $M_{Ed}$ .



Potřebujeme tedy stanovit únosnost  $[M_{Rd}, N_{Rd}]$  tohoto průřezu pro daný způsob namáhání\*, kterou porovnáme se zadaným namáháním.

# Únosnost průřezu namáhaného kombinací $M+N$

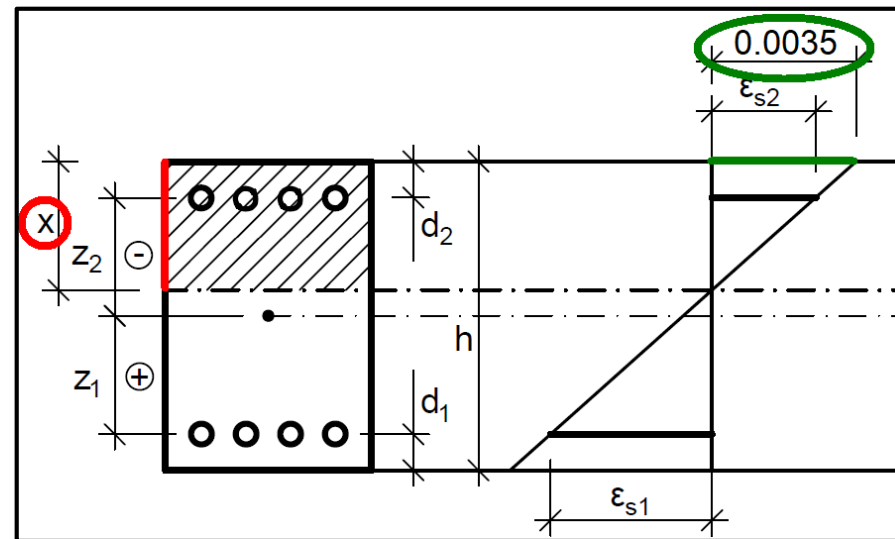
Pro jakkoliv namáhaný průřez lze jednoduše stanovit únosnost  $[M_{Rd}, N_{Rd}]$ , pokud známe průběh přetvoření po průřezu – tj. pokud známe přetvoření krajních vláken a polohu neutrální osy – viz předchozí prezentace.



# Únosnost průřezu namáhaného kombinací $M+N$

Přetvoření krajních vláken je známé – to nám přesně udává norma.

Problém je však v tom, že nelze nijak jednoduše stanovit polohu neutrální osy pro danou kombinaci namáhání  $N_{Ed} + M_{Ed}^*$ .

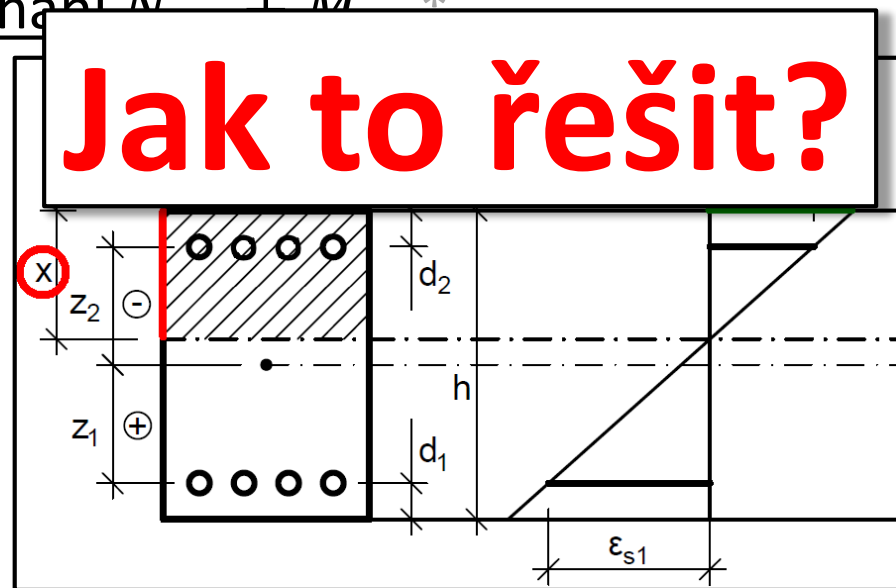


\* Máme sloup zatížený silou  $N_{Ed}$  na excentricitě  $e_{Ed}$ . Kdybychom zvyšovali normálovou sílu  $N$ , tak poroste i moment  $M = N \cdot e$ . Chtěli bychom zjistit, až na jakou hodnotu ( $N = N_{Rd}$ ) můžeme sílu s touto excentricitou  $e_{Ed}$  zvětšit. Tohle však neumíme nijak jednoduše spočítat, protože neumíme určit, jaká bude výška tlačené oblasti pro dané  $e_{Ed}$  :(

# Únosnost průřezu namáhaného kombinací $M+N$

Přetvoření krajních vláken je známé – to nám přesně udává norma.

Problém je však v tom, že nelze nijak jednoduše stanovit polohu neutrální osy pro danou kombinaci namáhání  $M + N$  \*

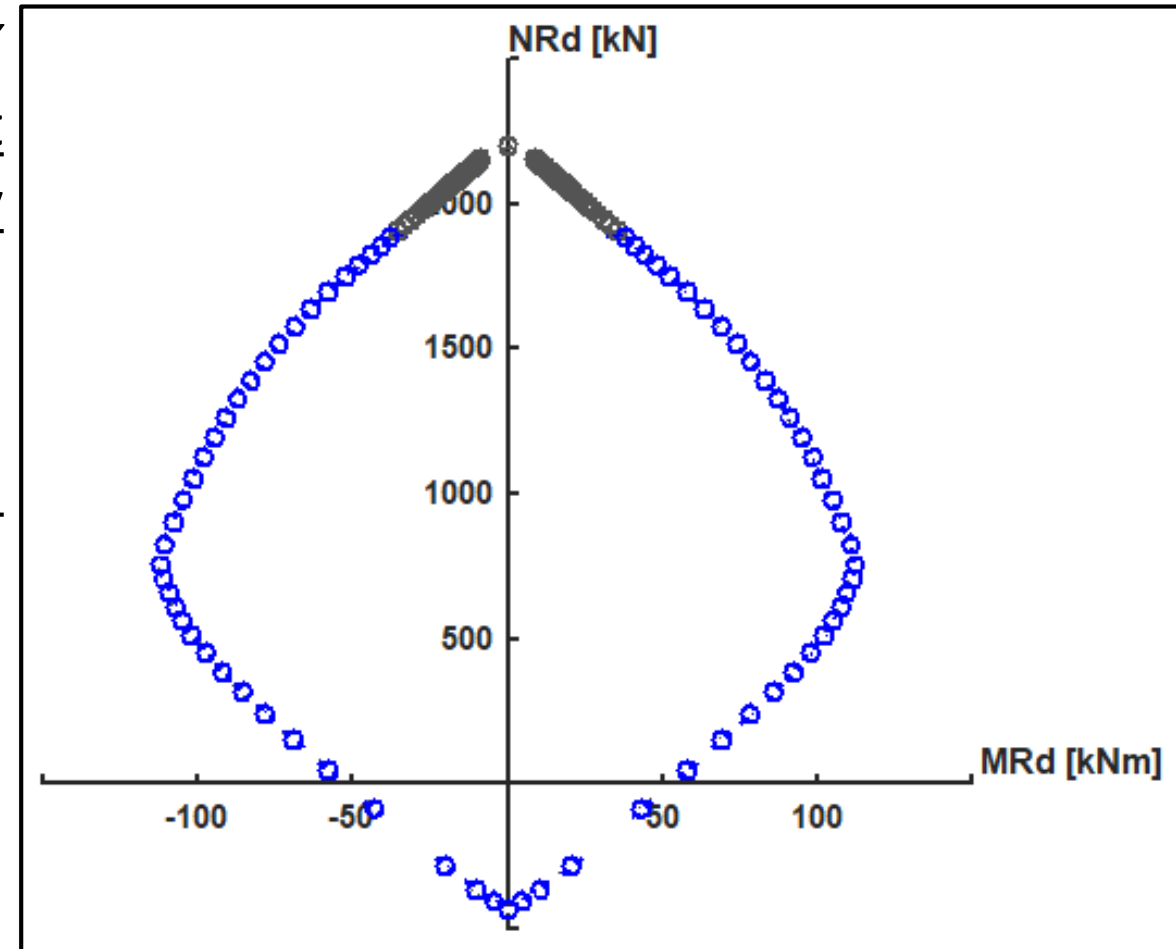


\* Máme sloup zatížený silou  $N_{Ed}$  na excentricitě  $e_{Ed}$ . Kdybychom zvyšovali normálovou sílu  $N$ , tak poroste i moment  $M = N \cdot e$ . Chtěli bychom zjistit, až na jakou hodnotu ( $N = N_{Rd}$ ) můžeme sílu s touto excentricitou  $e_{Ed}$  zvětšit. Tohle však neumíme nijak jednoduše spočítat, protože neumíme určit, jaká bude výška tlačené oblasti pro dané  $e_{Ed}$  :(

# Únosnost průřezu namáhaného kombinací $M+N$

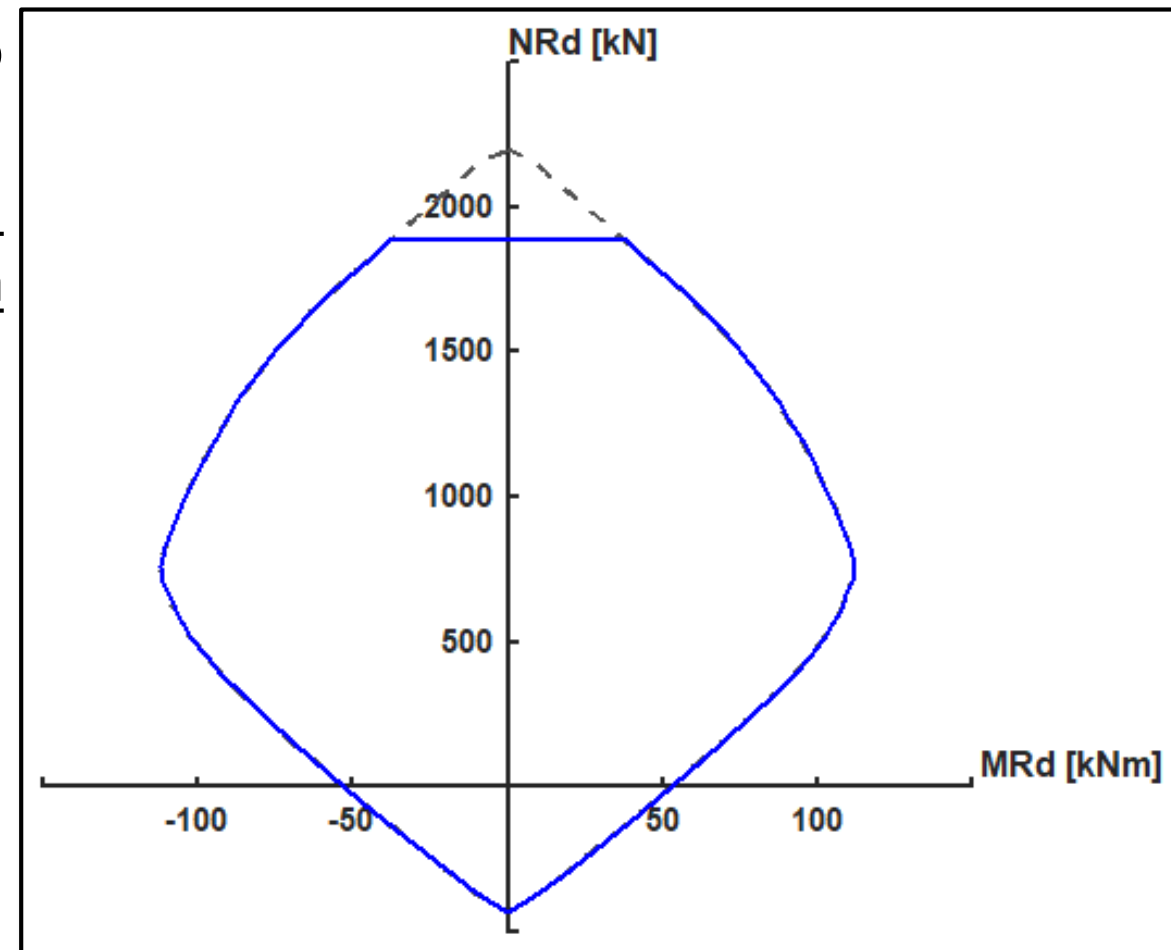
Když nevíme, jakou zvolit polohu neutrální osy  $x$  pro výpočet, tak spočítáme únosnost  $[M_{Rd}, N_{Rd}]$  pro všechny možné polohy neutrální osy\*.

Tím dostaneme velké množství různých kombinací únosnosti  $[M_{Rd}, N_{Rd}]$ , které si vyneseme do grafu.



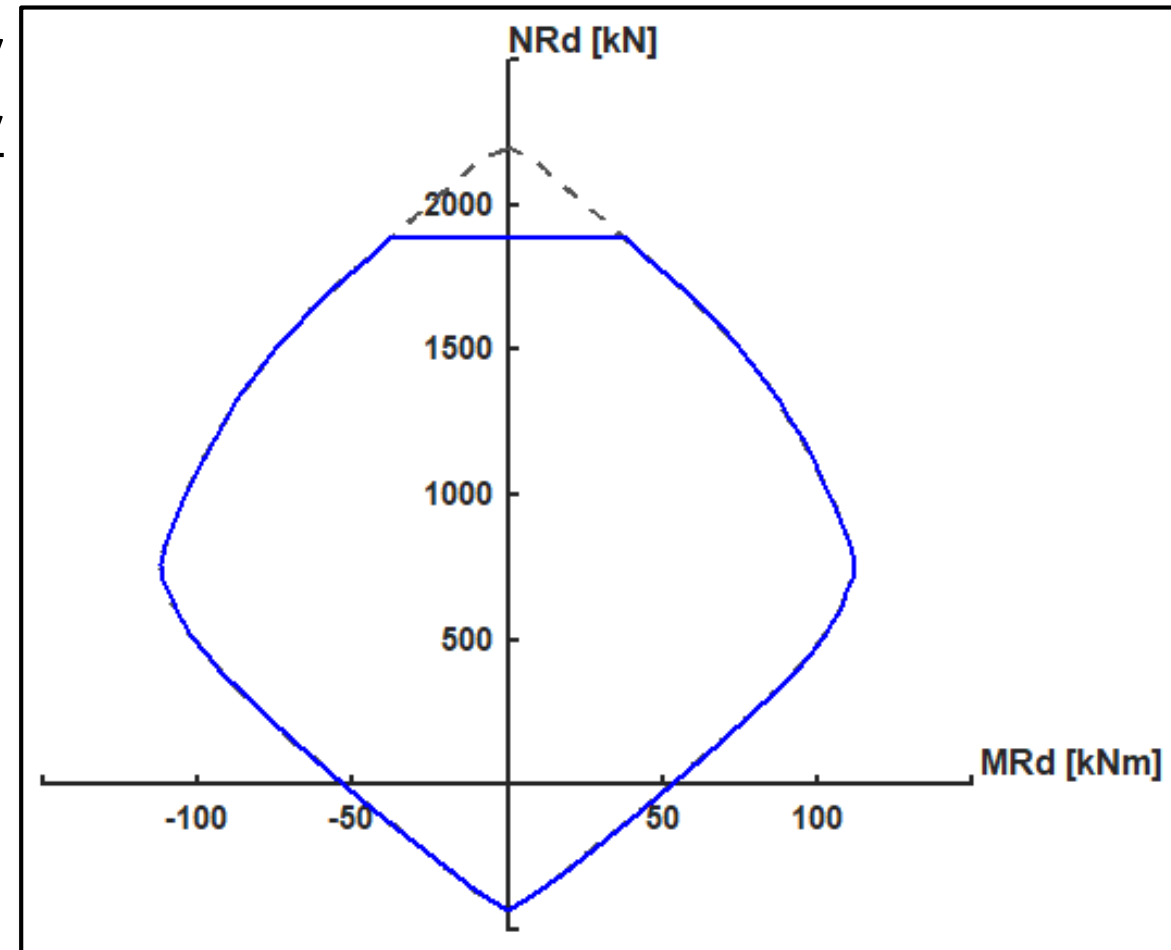
# Interakční diagram průřezu

Kdybychom výpočet provedli pro nekonečně mnoho poloh, získali bychom nekonečně mnoho bodů a vznikla by nám křivka, kterou nazýváme **interakční diagram průřezu**.



# Interakční diagram průřezu

Interakční diagram průřezu nám tedy znázorňuje únosnost průřezu\* pro všechny možné různé kombinace namáhání.



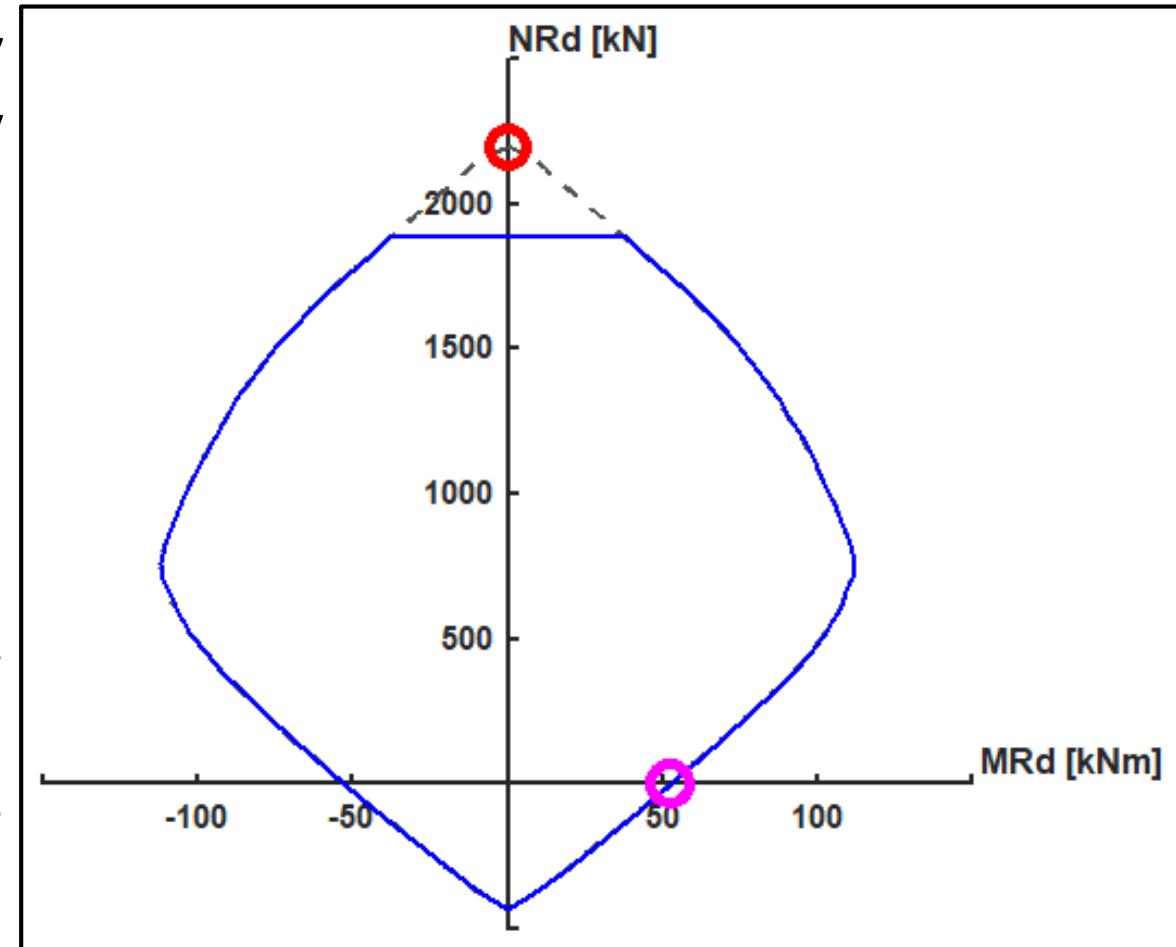
# Interakční diagram průřezu

Interakční diagram průřezu nám tedy znázorňuje únosnost průřezu pro všechny možné různé kombinace namáhání.

Pozn.: Se dvěma body diagramu jsme se už setkali.

Fialový bod je prostý ohyb ( $N = 0$ ), který jsme řešili u [desky](#) a [trámu](#).

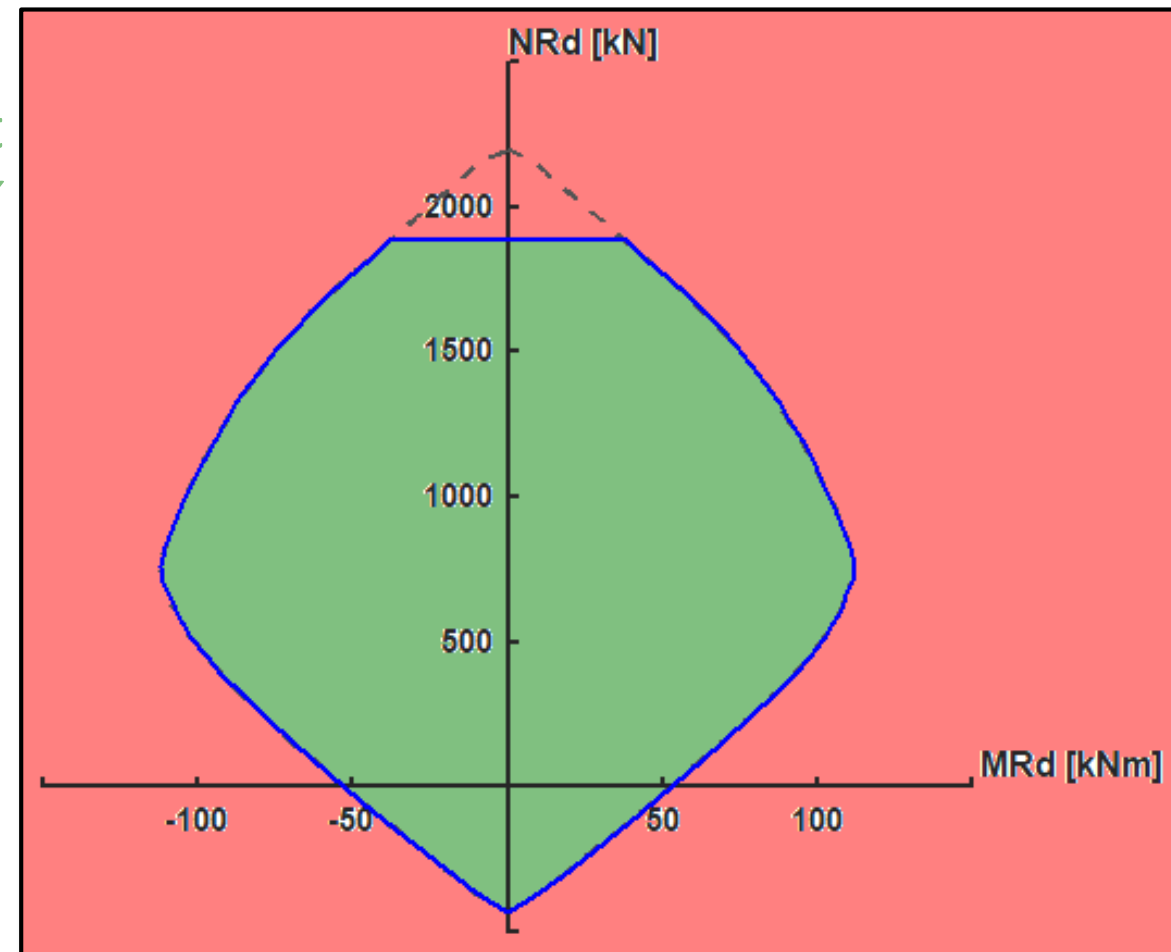
Červený bod je dostředný tlak (působí pouze síla,  $M = 0$ ), který jsme řešili u [návrhu výztuže sloupu](#).





# Interakční diagram průřezu

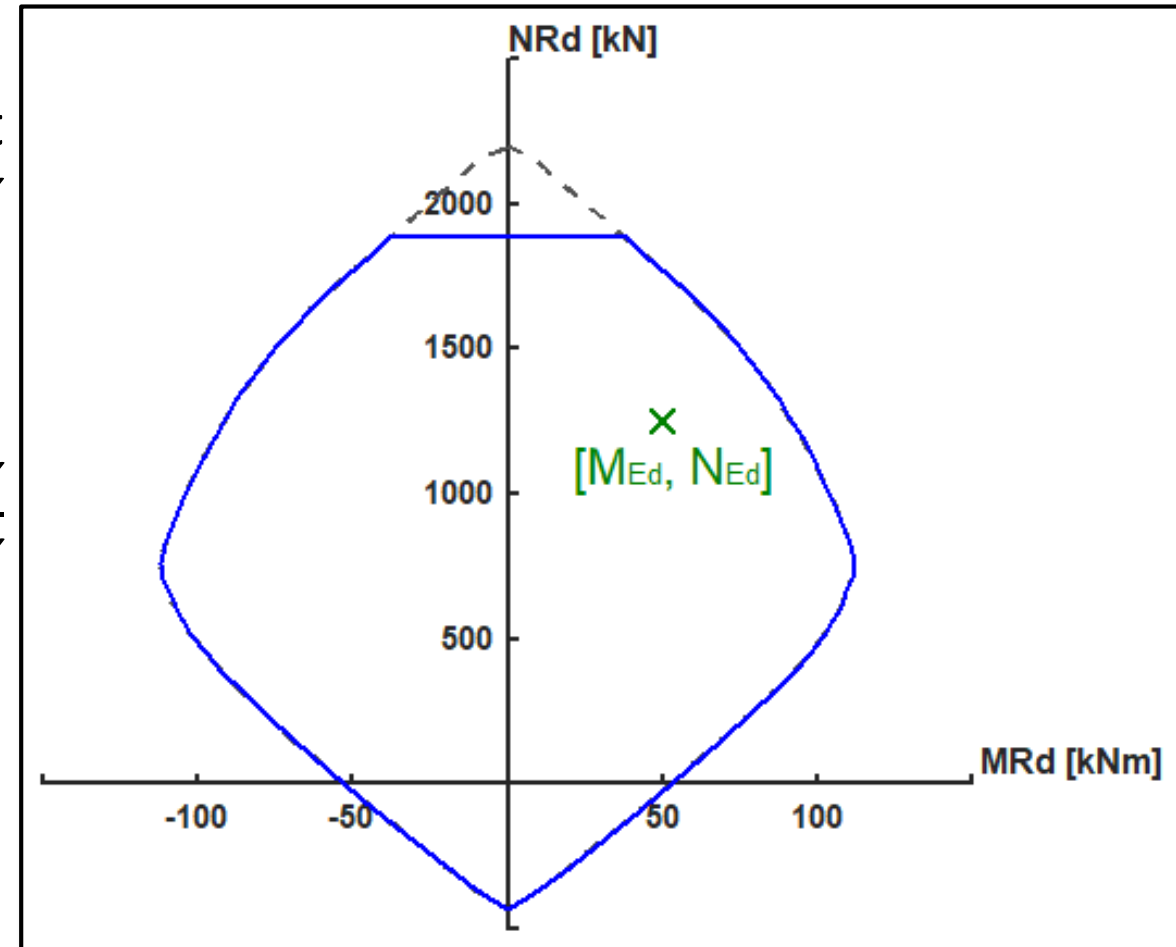
Jelikož interakční diagram průřezu znázorňuje únosnost průřezu, pak oblast uvnitř diagramu obsahuje vyhovující namáhání.



# Interakční diagram průřezu

Jelikož interakční diagram průřezu znázorňuje únosnost průřezu, pak oblast uvnitř diagramu obsahuje vyhovující namáhání.

→ Pokud bod znázorňující působící síly leží uvnitř diagramu, jsou působící síly menší než únosnost a návrh vyhovuje.



# Obecný přístup k posuzování

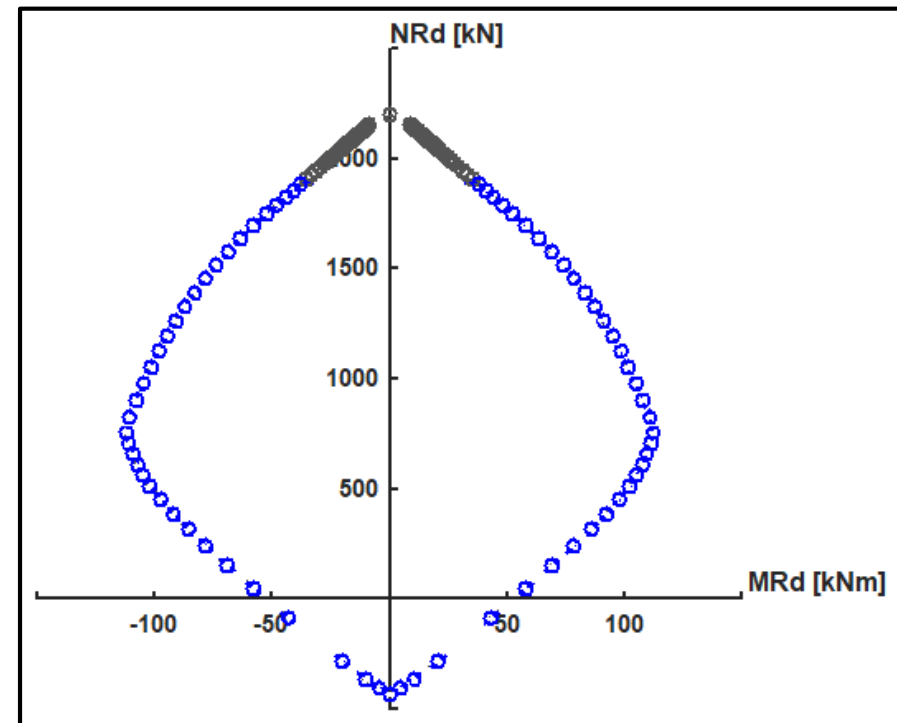
Postup posouzení je tedy

1. sestrojit interakční diagram,
2. do diagramu vynést zadané působící vnitřní síly a posoudit průřez.

# Sestrojení interakčního diagramu

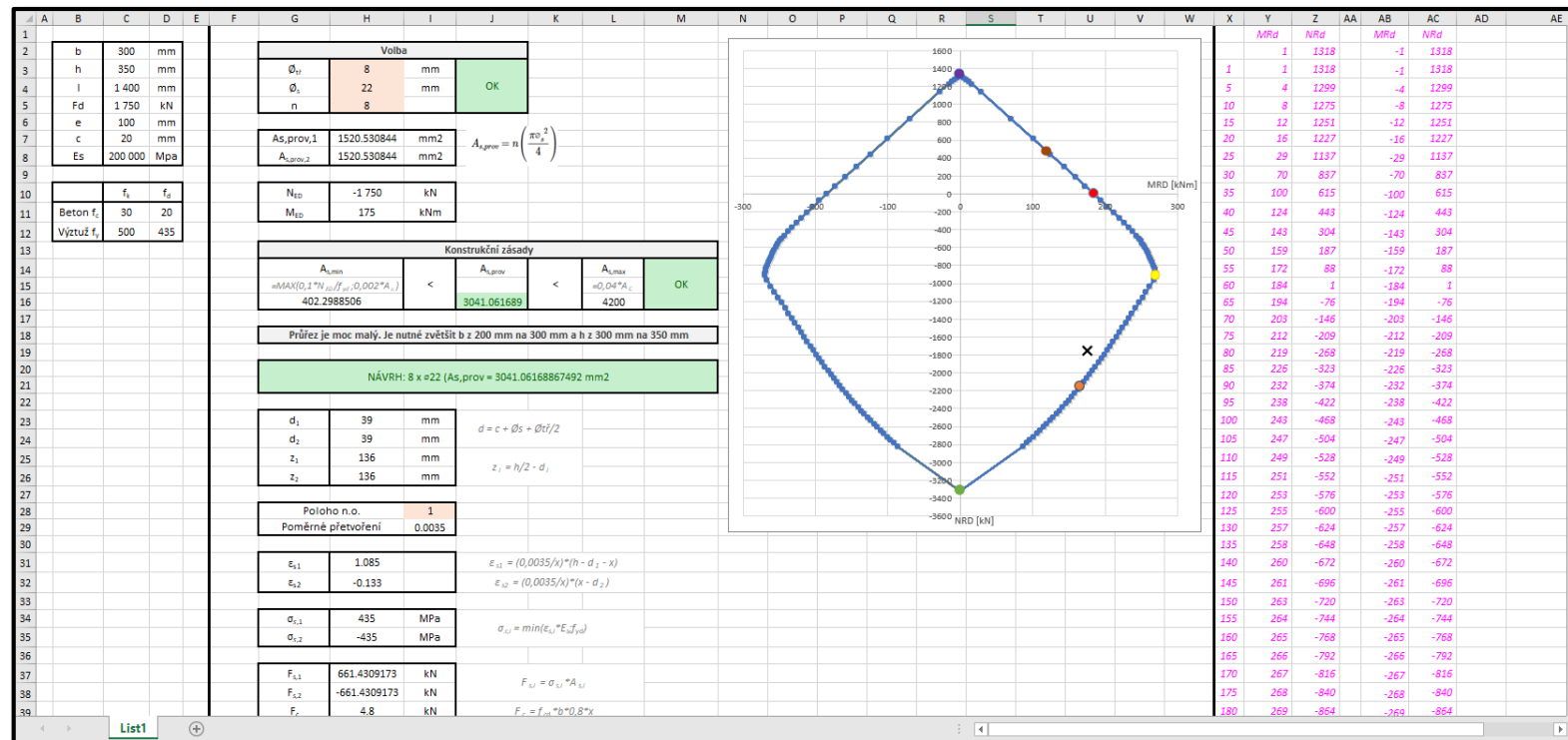
# Sestrojení skutečného interakčního diagramu

Pro posouzení průřezu potřebujeme sestavit interakční diagram. Ten můžeme sestavit tak, že spočítáme únosnost pro všechny možné polohy neutrální osy.



# Sestrojení skutečného interakčního diagramu

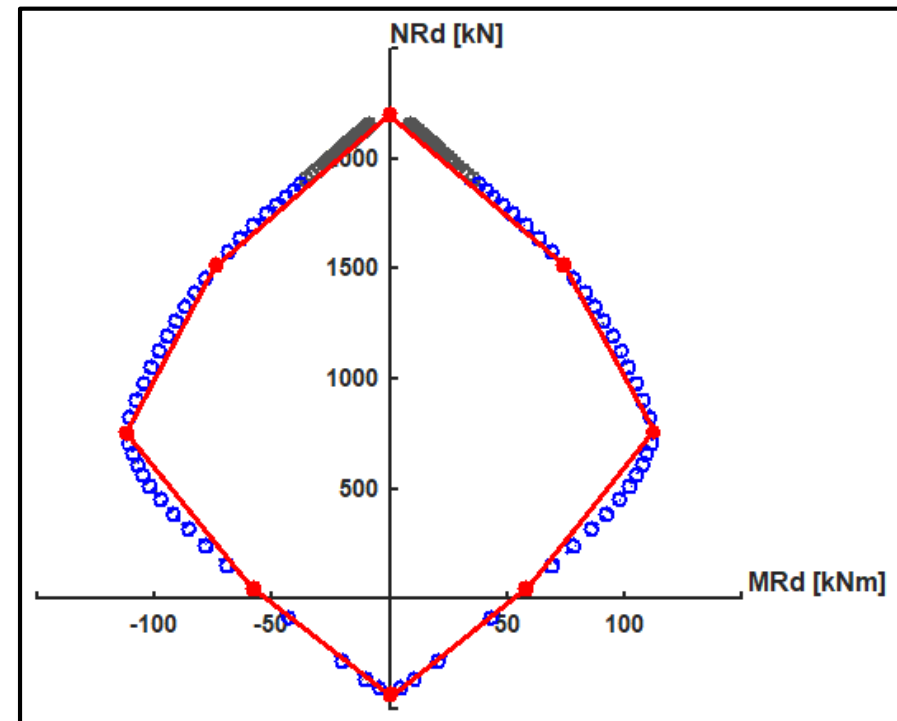
Při použití počítače (např. Excelu) je možné relativně rychle vypočítat únosnosti pro velké množství různých poloh neutrální osy\*. Tím získáme velké množství bodů a můžeme sestavit skutečný interakční diagram.



# Sestrojení bodového interakčního diagramu

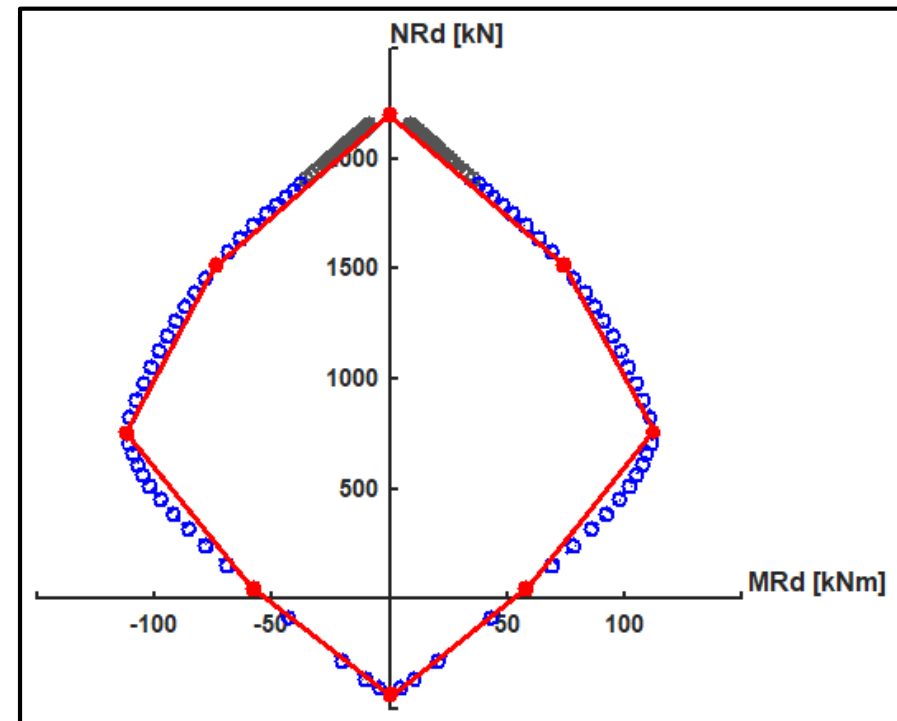
Při ručním výpočtu by ale vypočítat únosnosti pro velké množství různých poloh neutrální osy trvalo dlouho.

Když se ale podíváme na tvar diagramu tak vidíme, že **stačí spočítat několik „významných“ bodů a ty spojit úsečkami.**



# Bodový interakční diagram

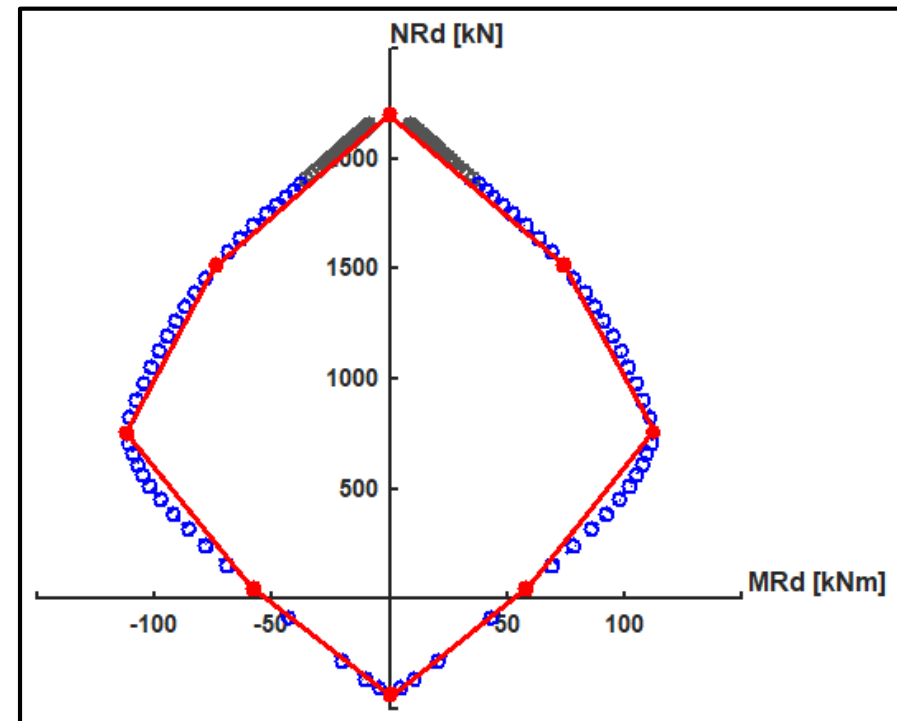
Bodový interakční diagram (tj. interakční diagram sestavený pouze z několika bodů) je mnohem rychlejší na sestavení.





# Bodový interakční diagram

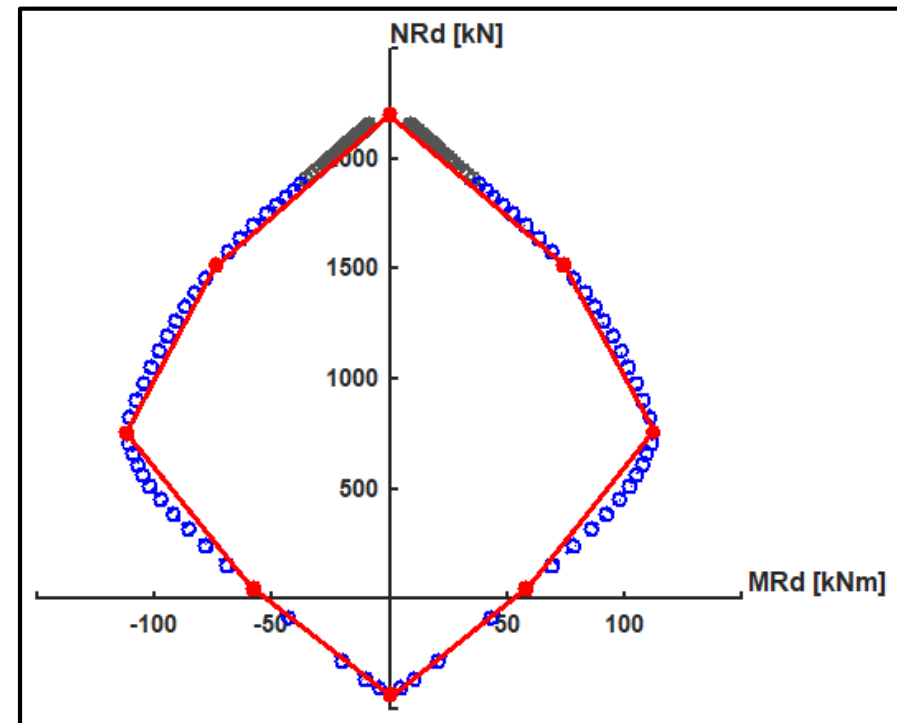
Bodový interakční diagram je menší než skutečný interakční diagram, a proto je jeho použití pro posouzení průřezu bezpečnější. (Protože uvažujeme, že únosnost je menší než jaká skutečně je.)



# Bodový interakční diagram

Pro posouzení průřezu použijeme tento rychlejší (a bezpečnější) bodový interakční diagram.

A jaké „významné“ body vypočítáme?



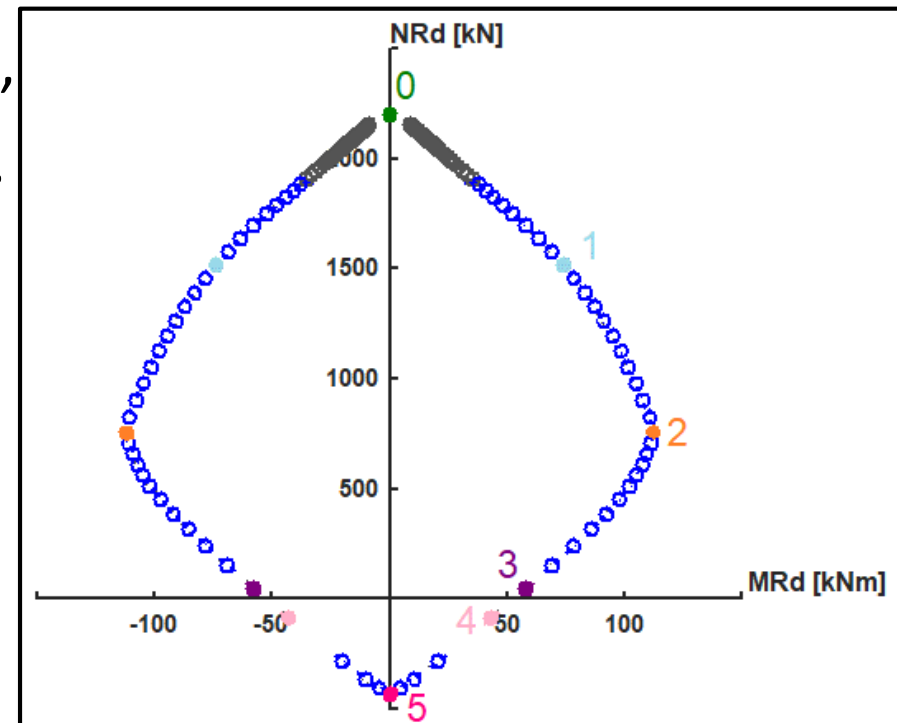
# Bodový interakční diagram

Nejdůležitější jsou body zvláštního namáhání:

- bod 2: maximální momentová únosnost ( $M_{Rd,max}$ ),
- bod 3: prostý ohyb ( $N_{Rd} = 0$ ),
- bod 0: maximální únosnost v tlaku ( $M_{Rd} = 0$ ),
- bod 5: maximální únosnost v tahu ( $M_{Rd} = 0$ ).

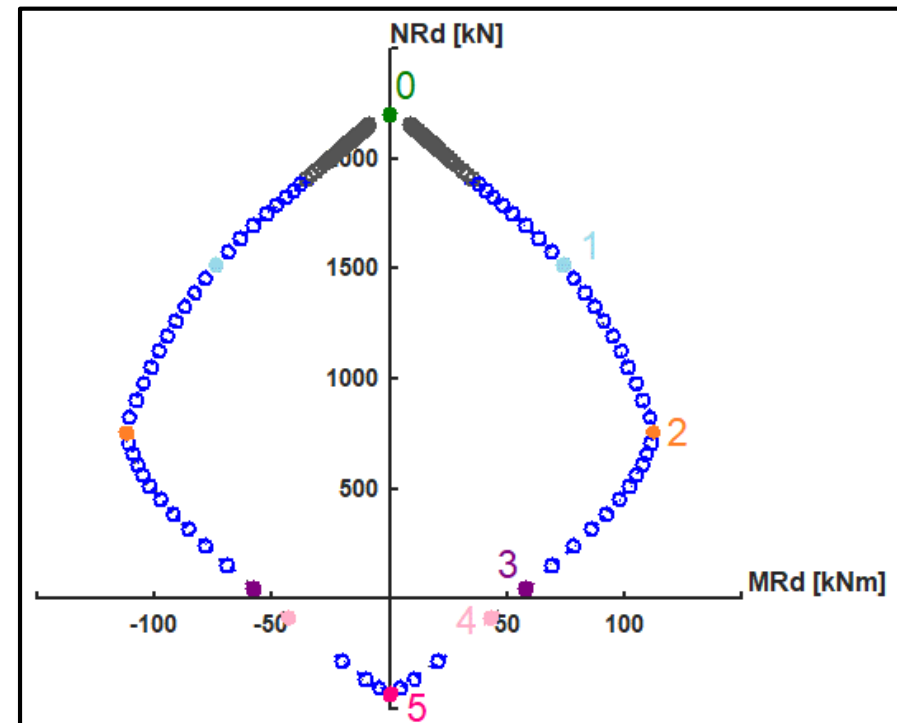
Pro zpřesnění se hodí vypočítat další dva zvláštní body

- bod 1 – nulové přetvoření dolní výztuže,
- bod 4 – nulové přetvoření horní výztuže.



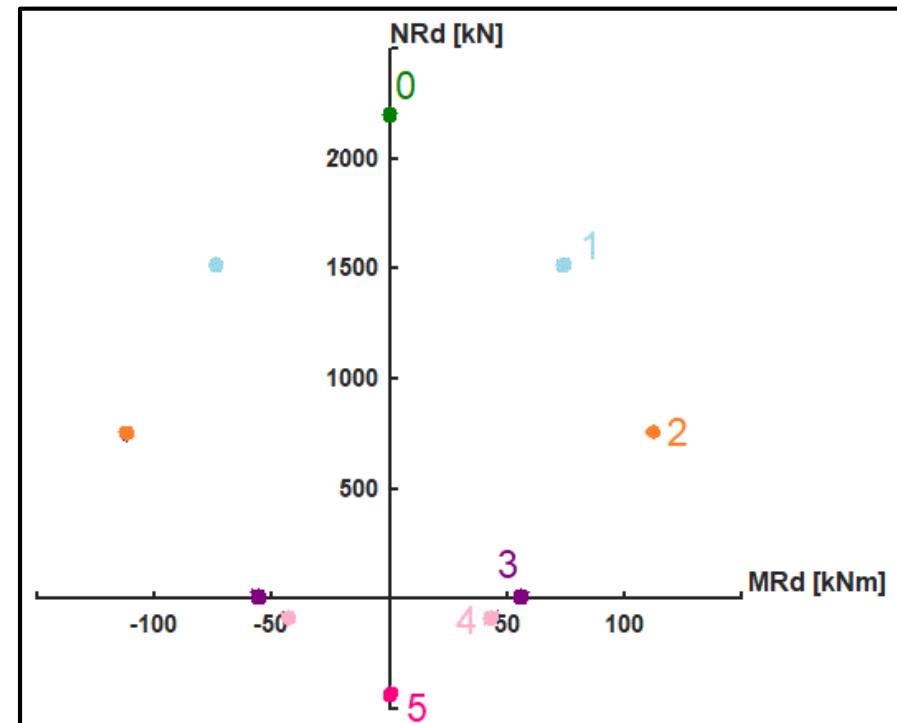
# Bodový interakční diagram

Postup výpočtu únosností při jednotlivých způsobech namáhání je popsán v [předchozí prezentaci](#).



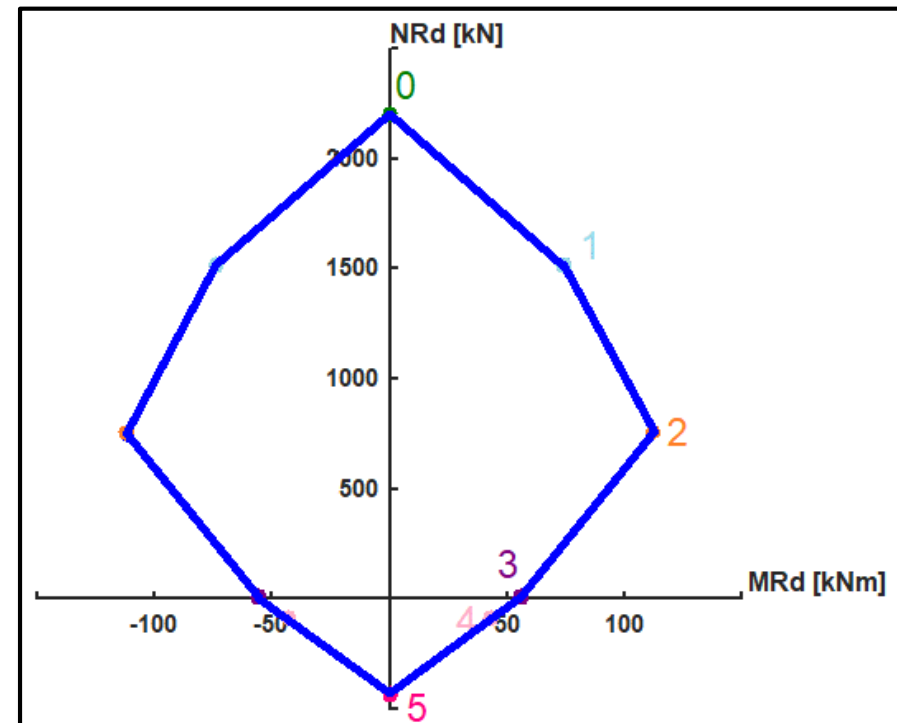
# Sestrojení bodového interakčního diagramu

Ve chvíli, kdy máme vypočítané únosnosti pro různé druhy namáhání (body 0 až 5), můžeme tyto body vynést do grafu.



# Sestrojení bodového interakčního diagramu

Spojením bodů dostaneme **bodový interakční diagram**.



# Sestrojení interakčního diagramu

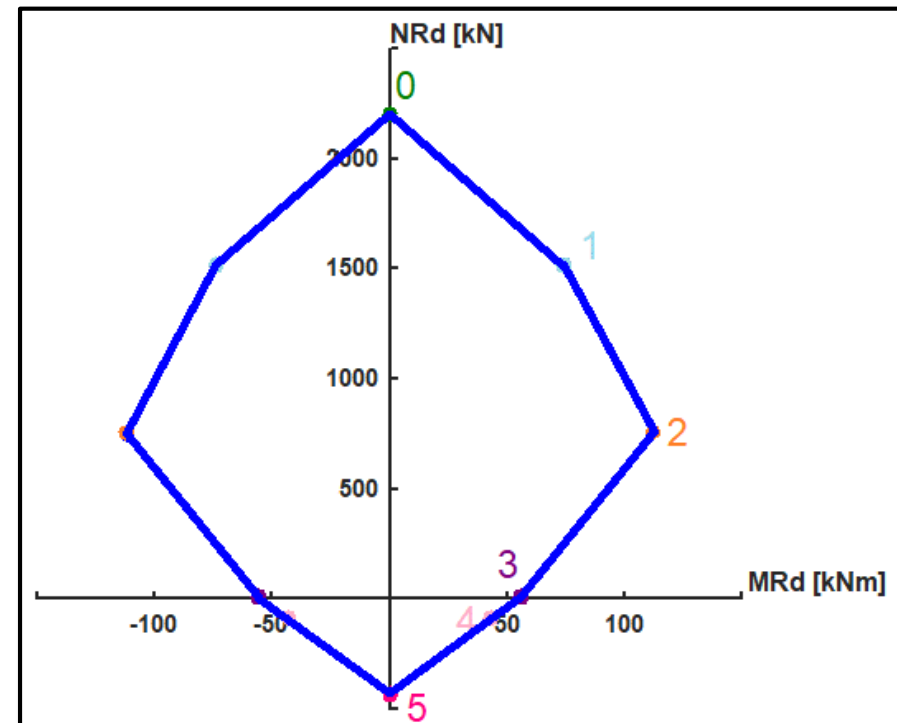
Omezení interakčního diagramu

# Omezení interakčního diagramu

Norma nám udává, že vždy musíme uvažovat minimální excentricitu zatížení

$$e_0 = \max(h/30; 20 \text{ mm}),$$

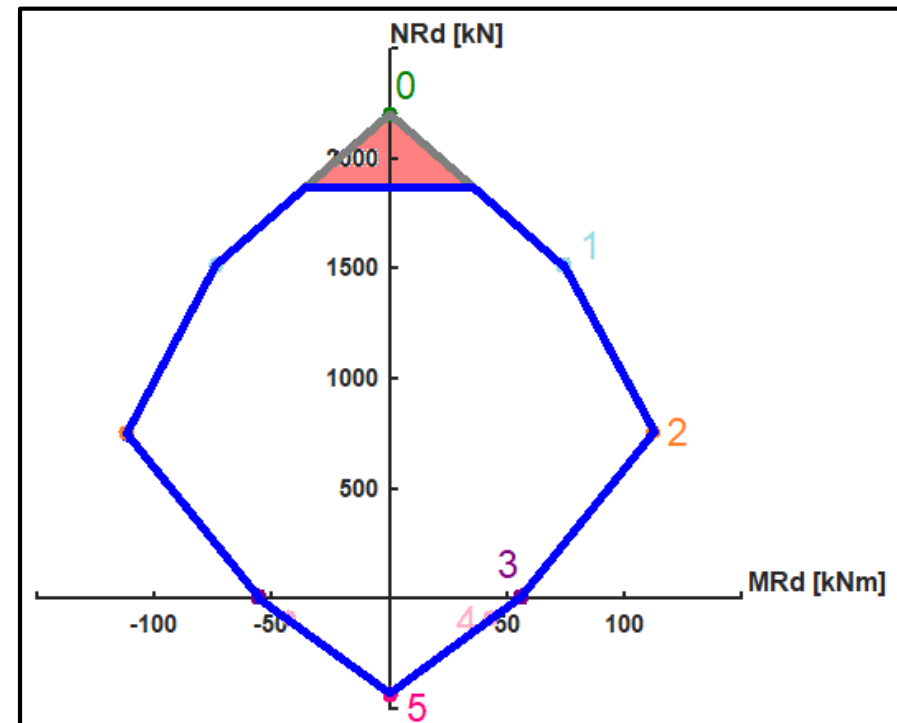
kde  $h$  je výška průřezu.





# Omezení interakčního diagramu

Abychom na tuto minimální excentricitu nemuseli myslet při každém posouzení, můžeme ji graficky vyjádřit pomocí omezení interakčního diagramu.



# Omezení interakčního diagramu

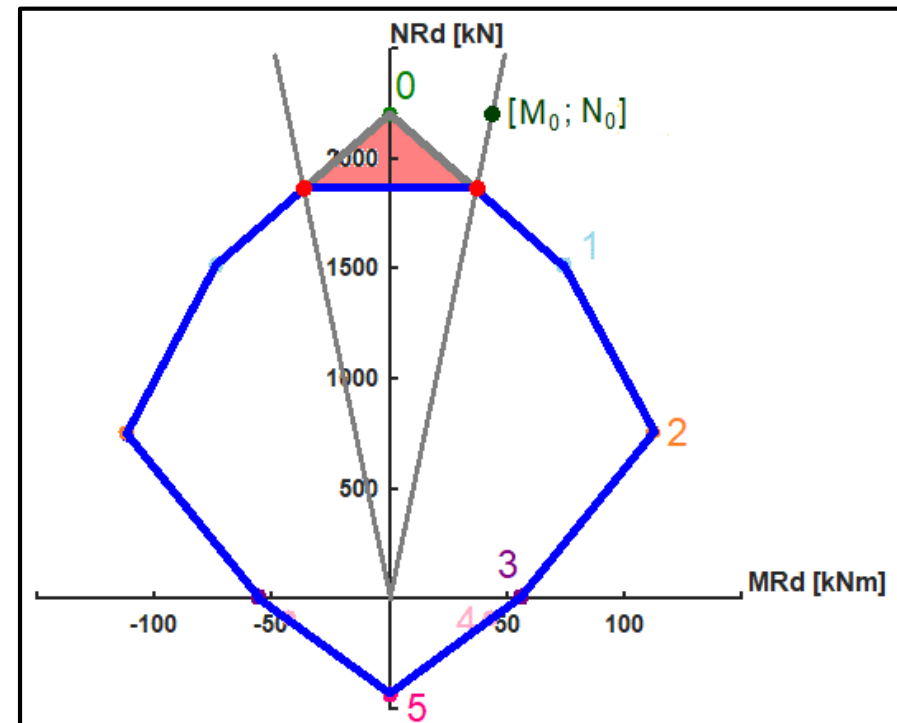
Odovídající omezení interakčního diagramu získáme tak, že vyneseme bod  $[M_0; N_0]$ , kde

$$N_0 = N_{Rd,0},$$

$$M_0 = N_0 e_0,$$

a tento bod spojíme s počátkem.

Průsečík spojnice a interakčního diagramu udává omezení interakčního diagramu.



# Posouzení průřezu

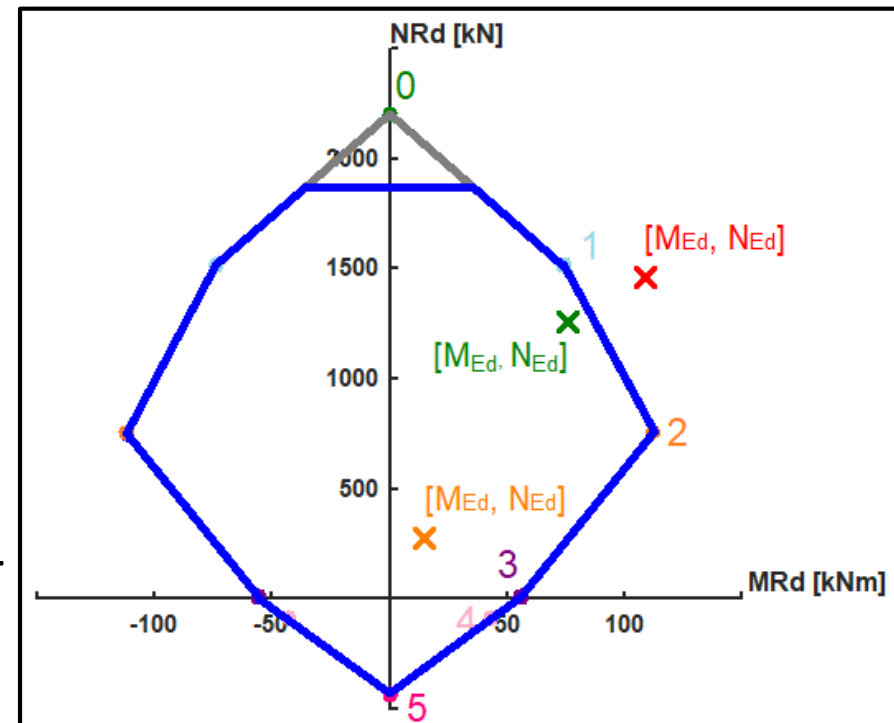
# Posouzení průřezu

Pro posouzení průřezu do grafu vyneseme bod vyjadřující působící zadané vnitřní síly.

Pokud **bod leží mimo oblast** vyhraničenou interakčním diagramem – **návrh nevyhovuje**.

Pokud **bod leží v oblasti** oblast vyhraničené interakčním diagramem a je **daleko od hranice** – **návrh vyhovuje, ale je neekonomický**.

Pokud **bod leží v oblasti** oblast vyhraničené interakčním diagramem a je **blízko hranice** – **návrh vyhovuje a je ekonomický**.



# Závěr

# Závěr

Při posouzení průřezu namáhaného  $M+N$  musíme:

1. vypočítat únosnosti pro různé způsoby namáhání,
2. sestrojit interakční diagram,
3. do diagramu vynést zadané působící vnitřní síly,
4. posoudit průřez.

# Doporučení k domácí úloze

# Doporučení k domácí úloze

V rámci domácí úlohy doporučuju:

- ručně vypočítat body 0, 2 a 5 (určitě),
- ručně vypočítat body 1, 3 a 4 (volitelně),
- vytvořit si vlastní excel a pomocí něj si ověřit svoje výsledky.

Vzorový výpočet bodů a sestavení interakčního diagramu lze nalézt na adrese

<https://people.fsv.cvut.cz/~holanjak/vyuka/NNKB/podklady/uloha3/sloup-sablona.pdf>



díky za pozornost

# Poděkování

Děkuji **Radku Štefanovi, Tomáši Trtíkovi, Romanu Chylíkovi a Hance Schreiberové** za časté konzultace při vypracovávání prezentace a **Stáňovi Zažirejovi** za poskytnutí vizualizací a obrázků.

Děkuji **Petru Bílému a Martinovi Tipkovi** za vytvoření a udržování oficiálních podkladů, ze kterých vychází tato prezentace.

[a v neposlední řadě, děkuji divákům v poslední řadě](#)