

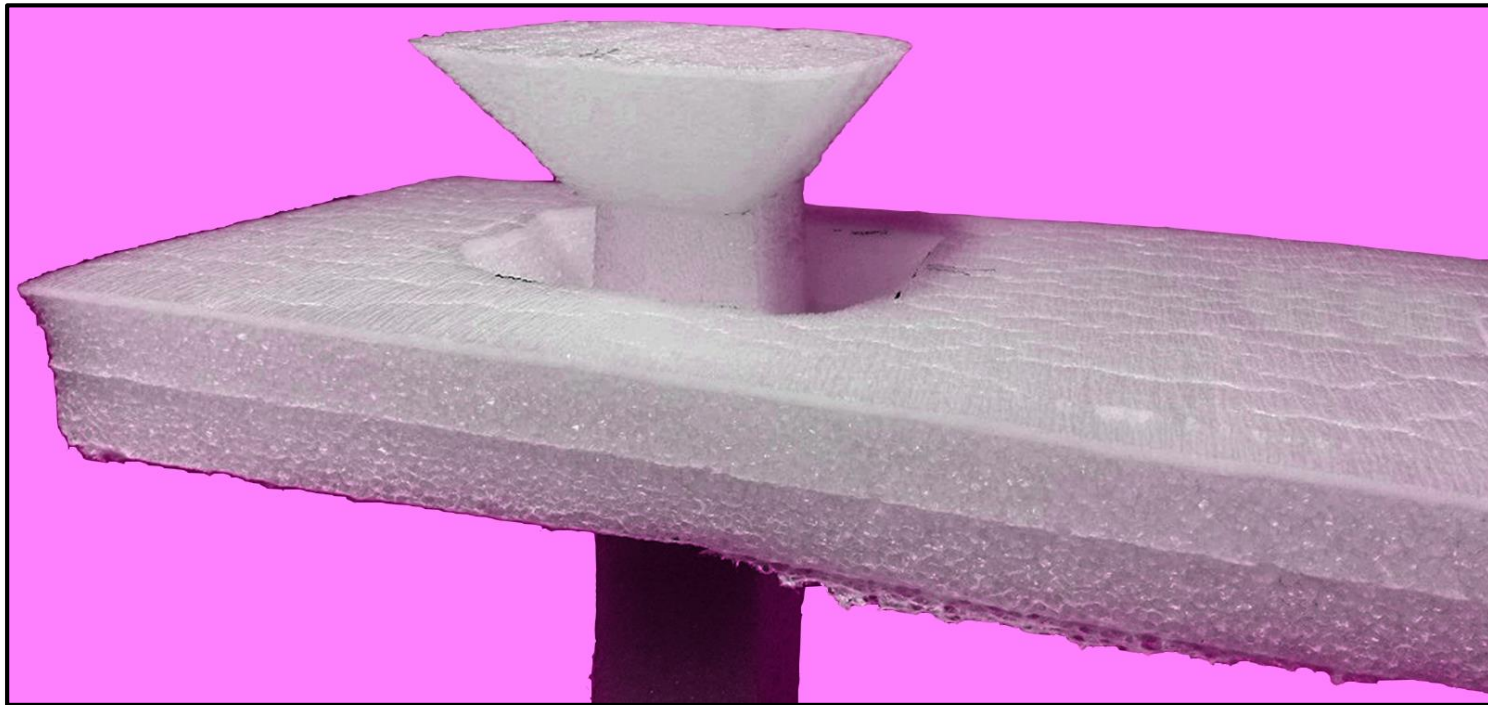


Protlačení lokálně podepřené desky

dle ČSN EN 1992-1-1, čl. 6.4.3

Protlačení desky

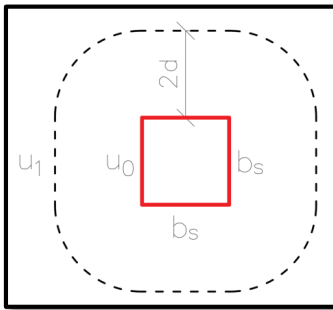
U lokálně podepřených desek působí **velká síla ze sloupu na malou plochu na desky** a může dojít k ***protlačení**** desky.



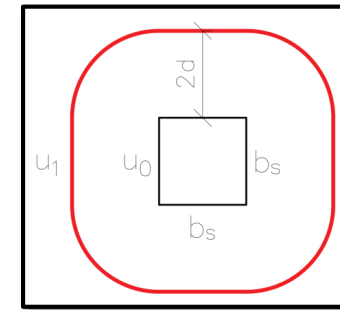
Protlačení desky

Z hlediska protlačení hrozí **dva druhy porušení**.

protlačení v **obvodu u_0**



protlačení v **obvodu u_1**

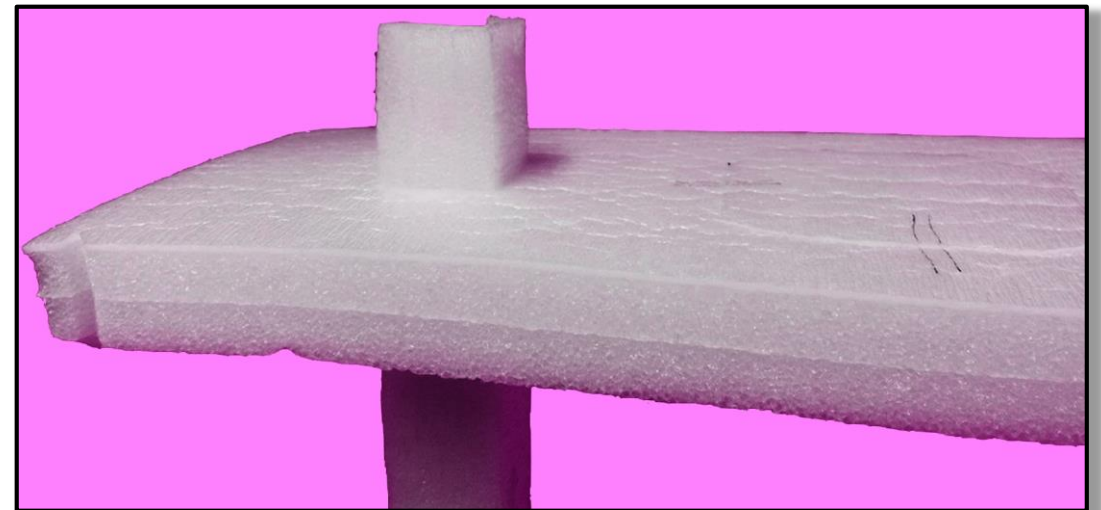
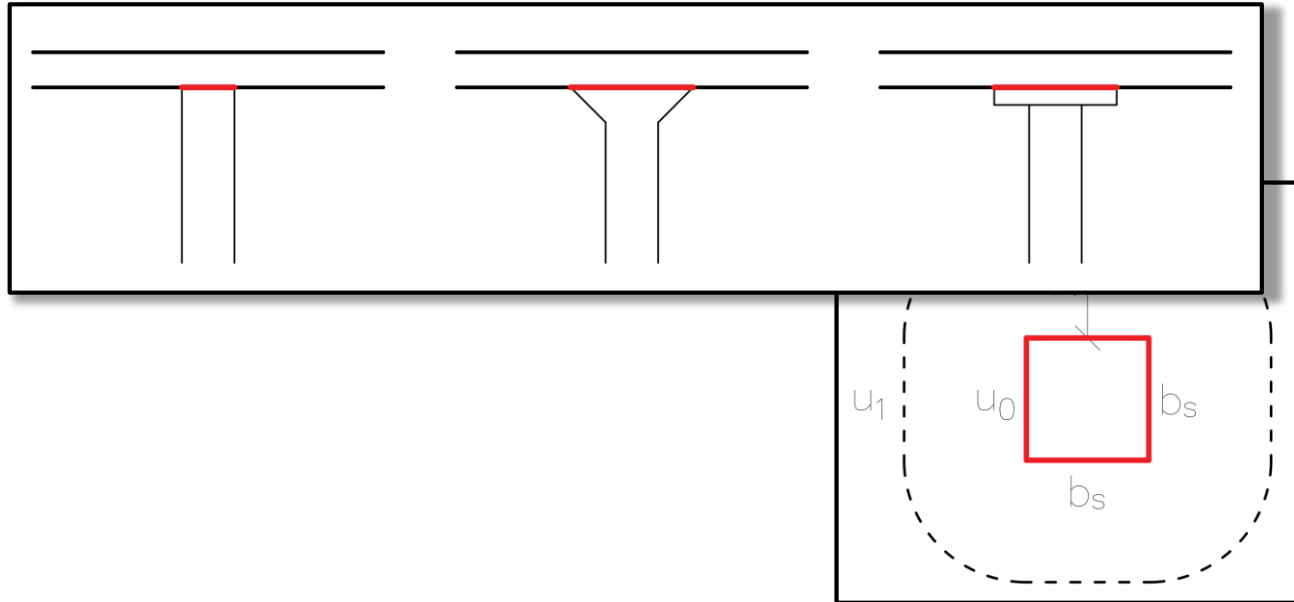


Protlačení v obvodu u_0

Protlačení v obvodu u_0

Protlačení **v obvodu u_0** se týká porušení, kdy **sloup „projede“* deskou**.

Obvod u_0 odpovídá obvodu průřezu podpory pod deskou.



Protlačení v obvodu u_0

Při tomto typu porušení nám **nijak nepomůže výztuž** proti protlačení, a **musíme** tedy **ověřit**, že **samotný beton zvládne odolat** tomuto namáhání*. Ověření provádíme pomocí vztahu

$$v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max},$$

kde $v_{Ed,0}$ je **účinek** návrhového **zatížení** v obvodu u_0 ,
 $v_{Rd,max}$ je **únosnost v protlačení** v obvodu u_0 .

Protlačení v obvodu u_0

Při tomto typu porušení nám **nijak nepomůže výztuž** proti protlačení, a **musíme** tedy **ověřit**, že **samotný beton zvládne odolat** tomuto namáhání. Ověření provádíme pomocí vztahu

$$\frac{\beta V_{Ed}}{d_{eff} u_0} \leq 0.4 \nu f_{cd},$$

kde V_{Ed} je celkové návrhové zatížení **pouze z jednoho podlaží** (zatížení daného podlaží vynásobené se zatěžovací plochou sloupu),

β je součinitel polohy sloupu (viz další slide),

d_{eff} je účinná výška desky (tj. průměrná* účinná výška průřezu),

$\nu = 0.6(1 - f_{ck}/250)$.

Protlačení v obvodu u_0

Při tomto typu porušení nám **nijak nepomůže výztuž** proti protlačení, a **musíme** tedy **ověřit**, že **samotný beton zvládne odolat** tomuto namáhání. Ověření provádíme pomocí vztahu

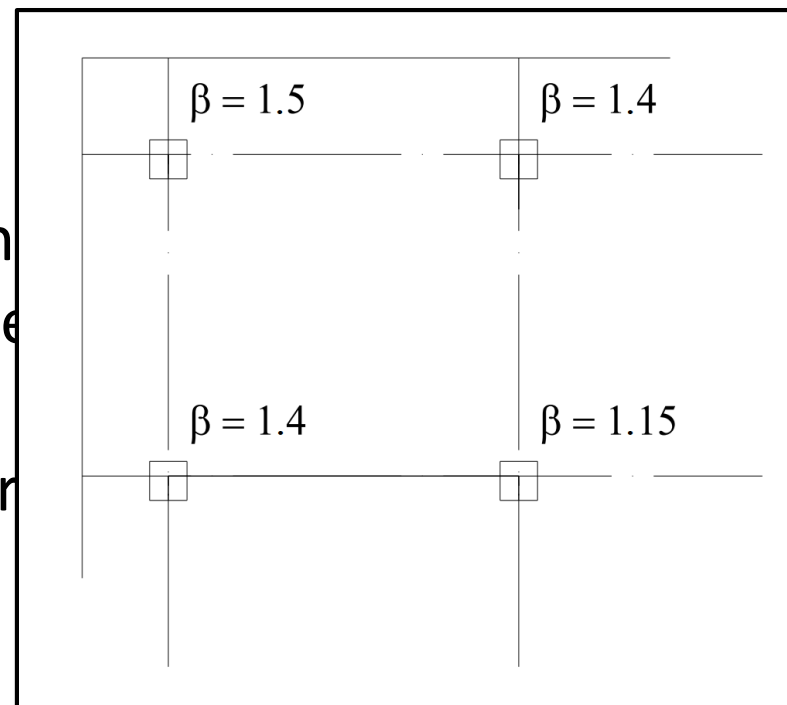
$$\frac{\beta V_{Ed}}{d_{eff} u_0} \leq 0.4 \nu f_{cd},$$

kde V_{Ed} je celkové návrhové zatížení daného podlaží vynásobeno

β je součinitel polohy sloupu

d_{eff} je účinná výška desky (tj. pro

$\nu = 0.6(1 - f_{ck}/250)$.



zatížení

ou),

ezu),

Protlačení v obvodu u_0

Pokud podmínka nevyhoví, deska neodolá namáhání, a je **nutné návrh upravit**.

Možné úpravy zahrnují

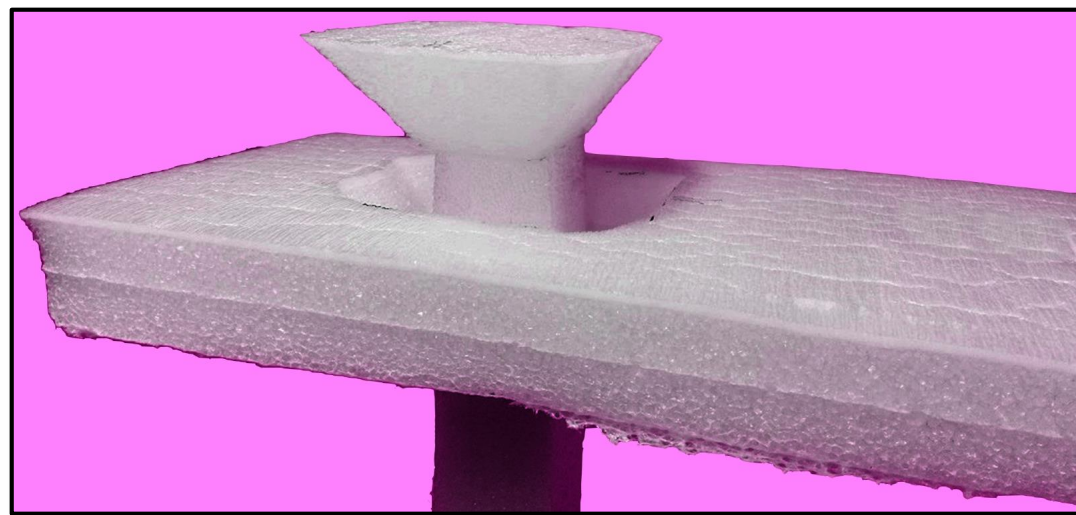
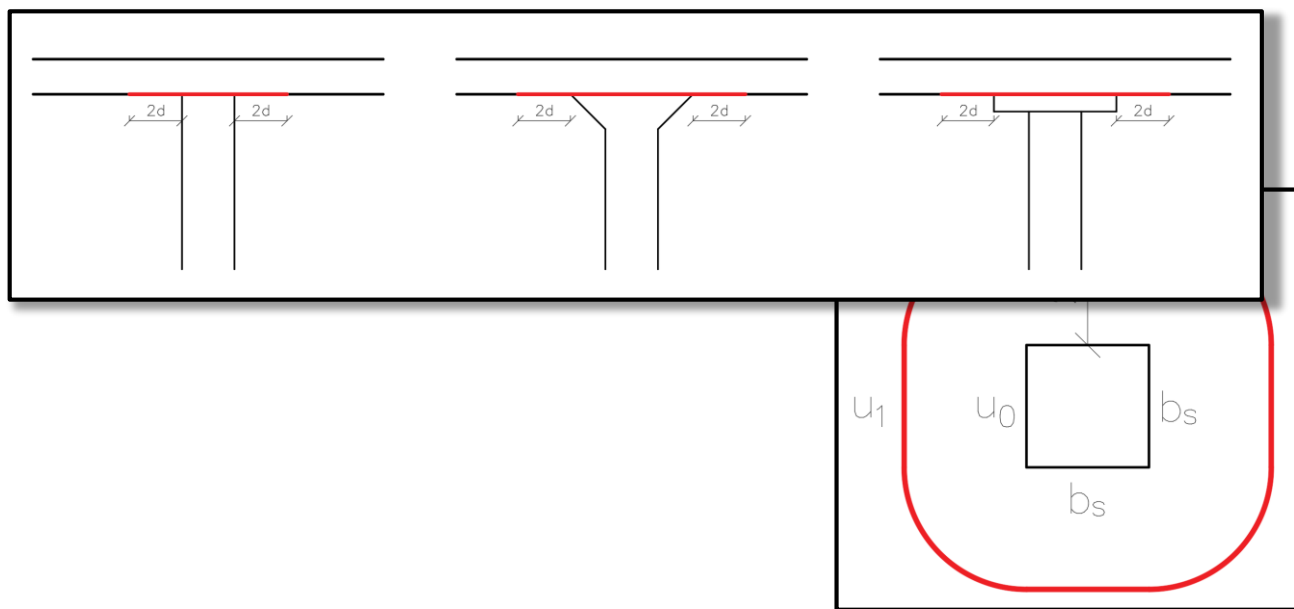
- zvětšení **tloušťky desky** (což sníží účinek zatížení),
- zvětšení **kontrolovaného obvodu** (což sníží účinek zatížení) – např. vložením manžetové hlavice, vytvořením „hříbu“ pod deskou,
- zvýšením **pevnostní třídy betonu** (což zvýší únosnost).

Protlačení v obvodu u_1

Protlačení v obvodu u_1

Protlačení **v obvodu u_1** se týká porušení, kdy **sloup „vytrhne“*** část desky.

Obvod u_1 odpovídá „rozšířenému“ obvodu podpory sloupu o $2d$.



Protlačení v obvodu u_1

Při tomto typu porušení nám zajišťuje **únosnost**

- **beton,**
- **podélná výztuž,**
- **případná výztuž na protlačení.**

Podélná výztuž

Pro další výpočty potřebujeme stanovit dvě vlastnosti související s podélnou výztuží

- účinnou výšku desky,
- stupeň vyztužení podélnou tahovou výztuží.

Jelikož máme **oboustranně vyztuženou desku**, musíme stanovit tyto hodnoty jako „**průměry**“ z jednotlivých směrů.

Podélná výztuž

Účinná výška desky

$$d_{eff} = (d_x + d_y)/2$$

kde d_x je účinná výška výztuže ve směru x ,
 d_y je účinná výška výztuže ve směru y .

Podélná výztuž

Stupeň vyztužení podélnou tahovou výztuží

$$\rho_l = \min \left(\sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}; 0.02 \right)$$

kde ρ_{lx} je průměrný* stupeň vyztužení tahovou výztuží ve směru x ,
 ρ_{ly} je průměrný* stupeň vyztužení tahovou výztuží ve směru y .

Pro rovnoměrné vyztužení lze **průměrné stupně vyztužení** vypočítat jako

$$\rho_{lx} = a_{s,x} / (d_x \cdot 1000 \text{ mm}),$$

$$\rho_{ly} = a_{s,y} / (d_y \cdot 1000 \text{ mm}).$$

kde $a_{s,i}$ je plocha výztuže nad sloupem* ve směru i na jeden metr šířky desky [mm^2/m'].

Protlačení v obvodu u_1

Nejprve ověříme únosnost bez výztuže na protlačení*

$$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c},$$

kde $v_{Ed,1}$ je **účinek** návrhového **zatížení** v obvodu u_1 ,

$v_{Rd,c}$ je **únosnost** ve smyku při protlačení desky **bez smykové výztuže**.

Protlačení v obvodu u_1

Nejprve ověříme únosnost bez výztuže na protlačení*

$$\frac{\beta V_{Ed}}{d_{eff} u_1} \leq \max \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}; 0.035 \sqrt{k^3 f_{ck}} \right],$$

kde V_{Ed} je celkové návrhové zatížení z jednoho podlaží (zatížení daného podlaží vynásobené se zatěžovací plochou sloupu),

β je součinitel polohy sloupu (1.5 pro rohový, 1.4 pro okrajový, 1.15 pro vnitřní),

$C_{Rd,c} = 0.12$,

$$k = \min \left(1 + \sqrt{(200/d_{eff})}; 2 \right),$$

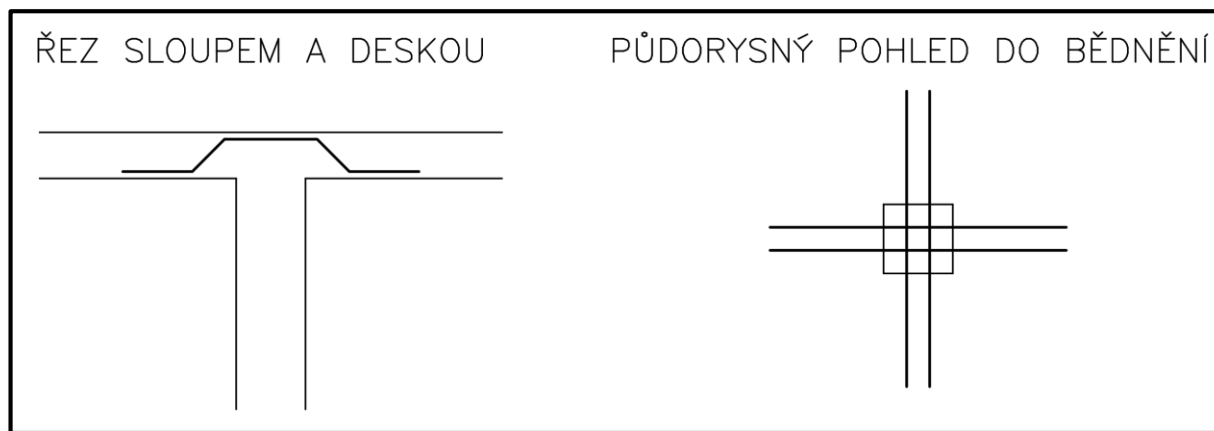
ρ_l je stupeň vyztužení podélnou tahovou výztuží,

d_{eff} je účinná výška desky v mm,

f_{ck} je charakteristická hodnota pevnosti betonu.

Protlačení v obvodu u_1

Pokud podmínka $v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c}$ **vyhoví**, znamená to, že **nemusíme navrhovat výztuž na protlačení**. Doporučuje se však navrhnout **alespoň výztuž konstrukční (2 ohyby nad sloupem v obou každém směru)**.

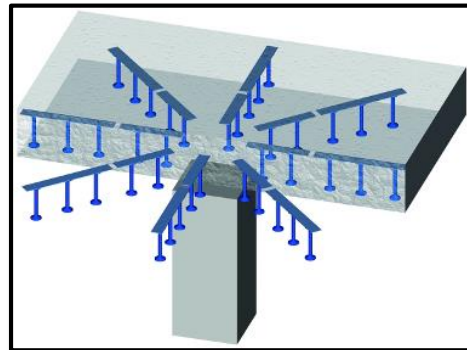


Pokud podmínka $v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c}$ **nevyhoví**, znamená to, že **musíme navrhnout výztuž na protlačení**.

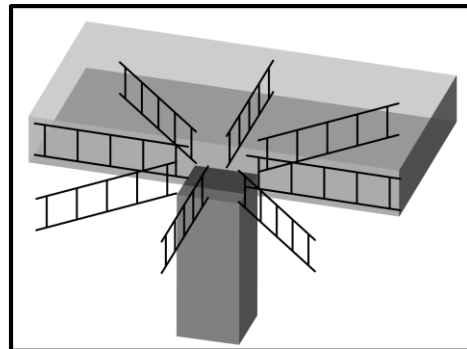
Výztuž na protlačení

Výztuž na protlačení lze realizovat dvěma způsoby:

- pomocí **patentovaných výrobků** – např. smykové **lišty s trny**,



- pomocí smykových **lišť z betonářské výztuže**.



Výztuž na protlačení

Posouzení únosnosti proti protlačení desky **při použití patentovaných výrobků** se většinou provádí **pomocí specializovaných programů** jednotlivých výrobců*.

Posouzení únosnosti proti protlačení desky **při použití betonářské výztuže** se provádí **pomocí normového postupu** – na tento způsob se zaměříme.

*Únosnost v protlačení s těmito výrobky nelze stanovovat pomocí normy. Proto se musí používat postupy nebo programy výrobců.

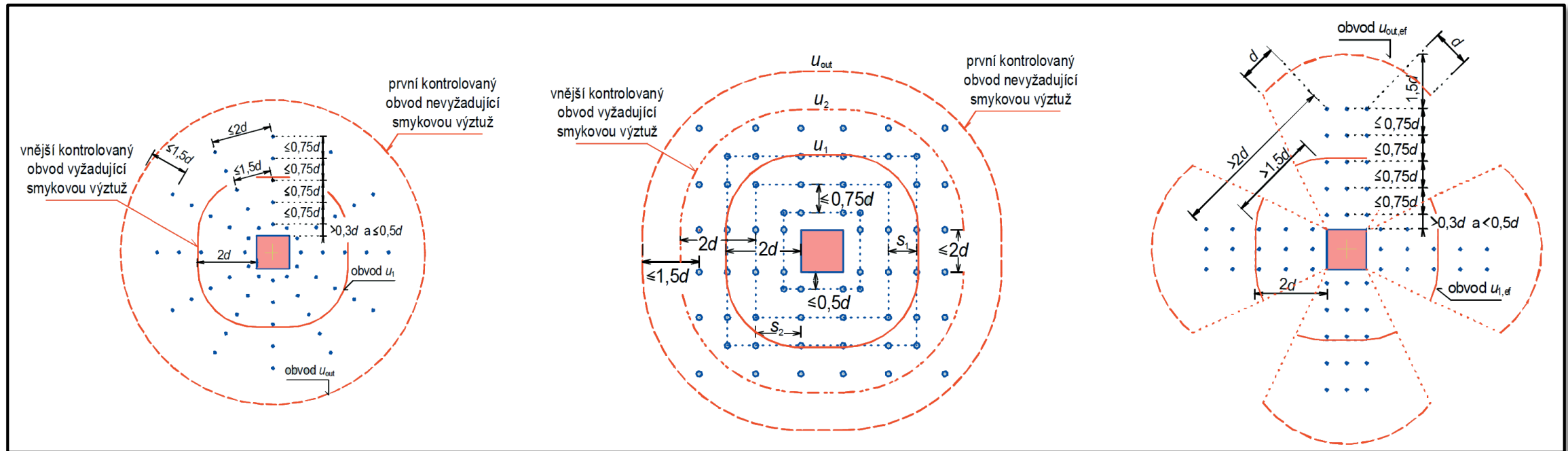
Návrh výztuže z betonářské výztuže

Výztuž na protlačení z betonářské výztuže **navrhujeme pomocí konstrukčních zásad**, a lze ji do desky **umístit různými způsoby**.

radiálně

ortogonálně

ortogonálně na části



Návrh výztuže z betonářské výztuže

Nejprve stanovíme **délku kontrolovaného obvodu u_{out}** , ve kterém již není potřeba smyková výztuž (tj. obvod, kde platí $v_{Ed,out} = v_{Rd,c}$).

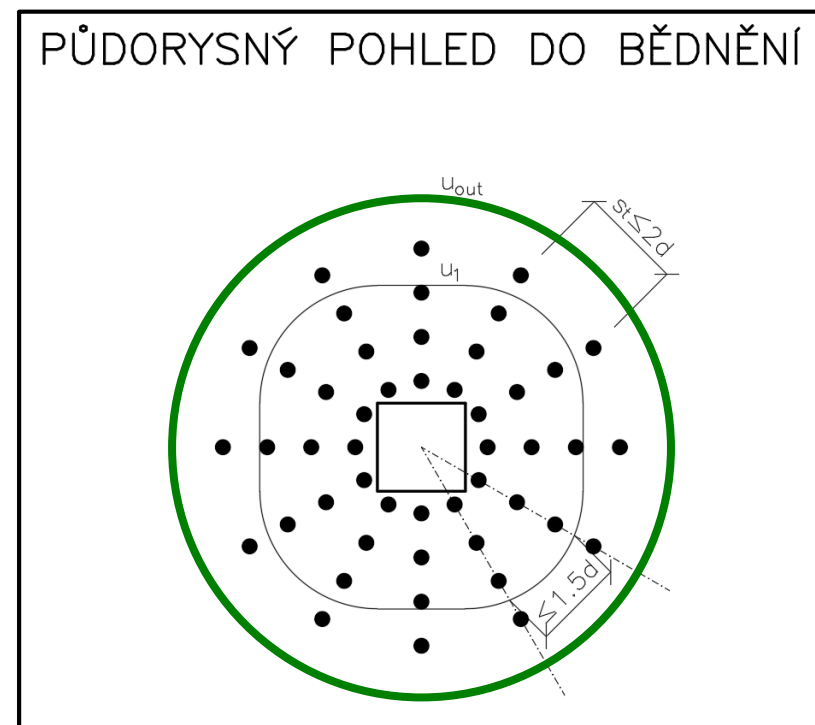
$$u_{out} = \frac{\beta V_{Ed}}{v_{Rd,c} d_{eff}},$$

kde V_{Ed} je celkové návrhové zatížení pouze z jednoho podlaží,

β je součinitel polohy sloupu,

d_{eff} je účinná výška desky,

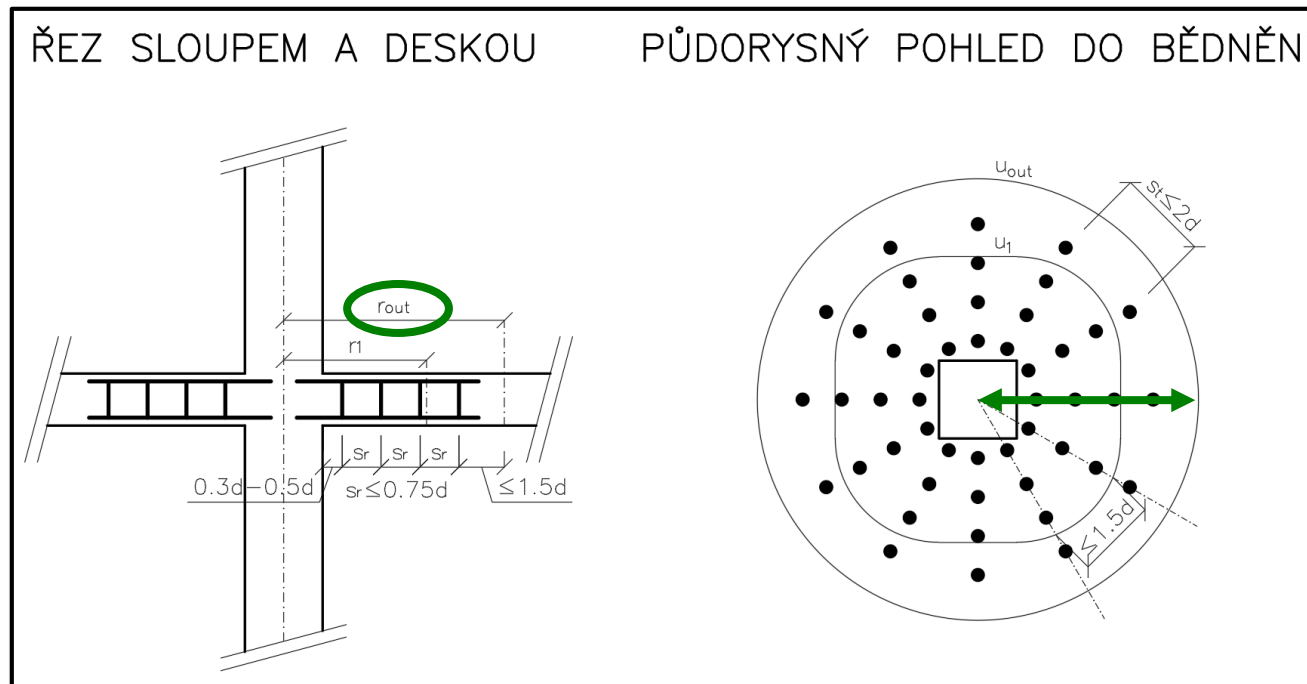
$v_{Rd,c}$ je únosnost bez výztuže na protlačení.



Návrh výztuže z betonářské výztuže

Z délky kontrolovaného obvodu u_{out} pak stanovíme **poloměr kontrolovaného obvodu** jako

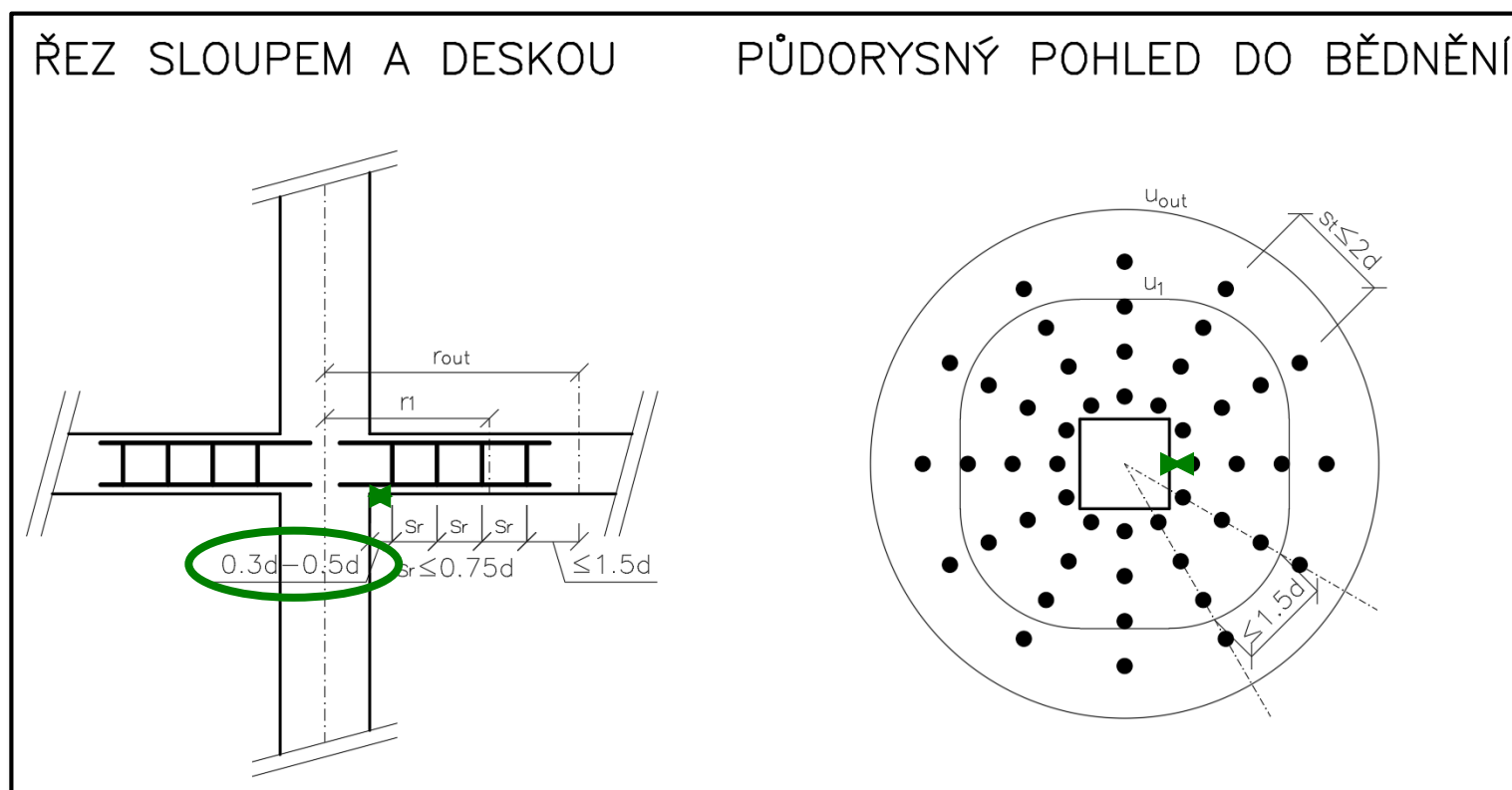
$$r_{out} = \frac{u_{out}}{2\pi}.$$



Návrh výztuže z betonářské výztuže

Počet a rozmístění smykových lišt určíme pomocí konstrukčních zásad.

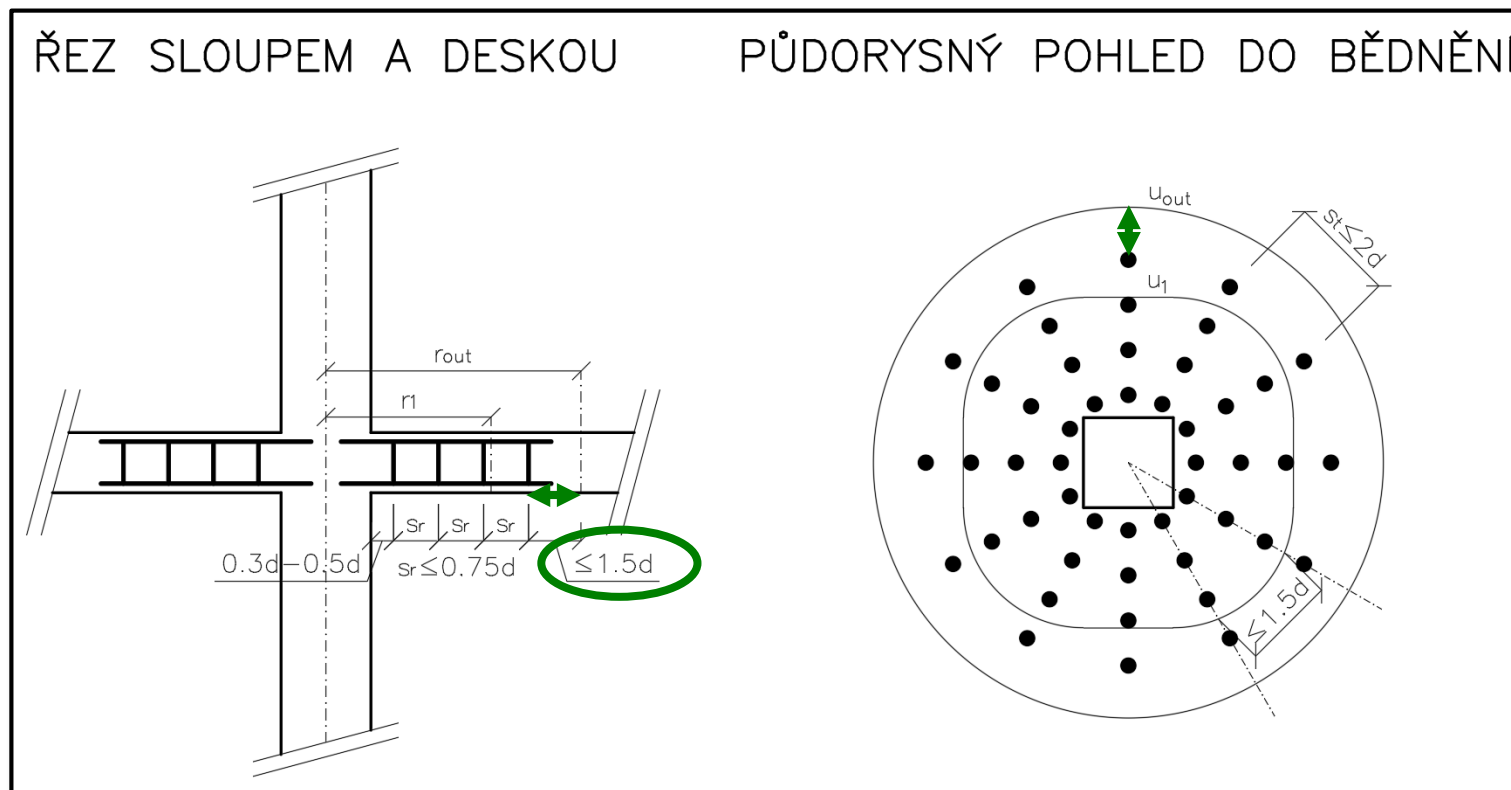
1) **První** výztužný profil smí být umístěn **$0.3d_{eff}$ až $0.5d_{eff}$** od líce sloupu.



Návrh výztuže z betonářské výztuže

Počet a rozmístění smykových lišt určíme pomocí konstrukčních zásad.

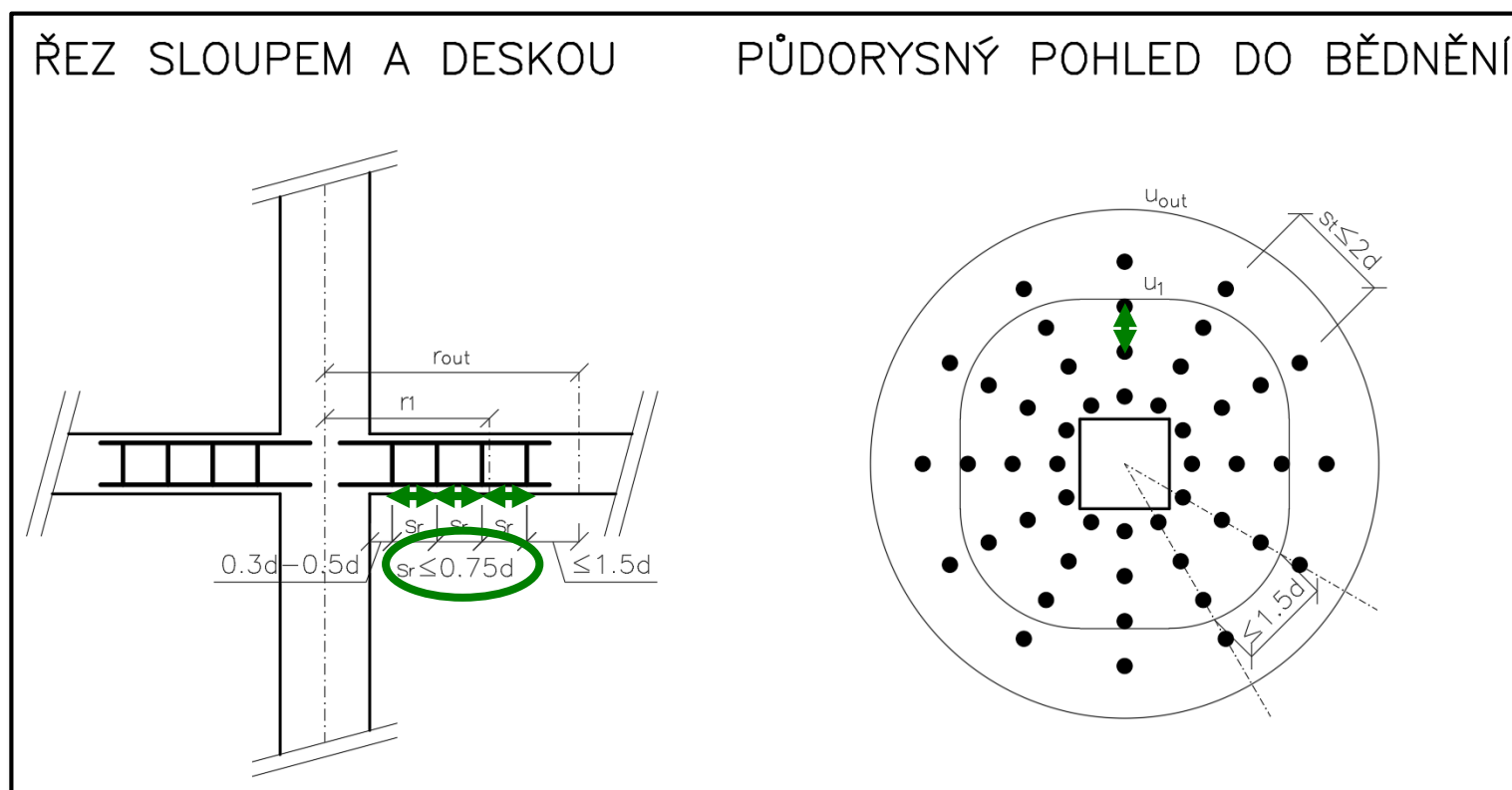
2) **Poslední** výztužný profil nesmí být dále než $1.5d_{eff}$ od obvodu u_{out} .



Návrh výztuže z betonářské výztuže

Počet a rozmístění smykových lišt určíme pomocí konstrukčních zásad.

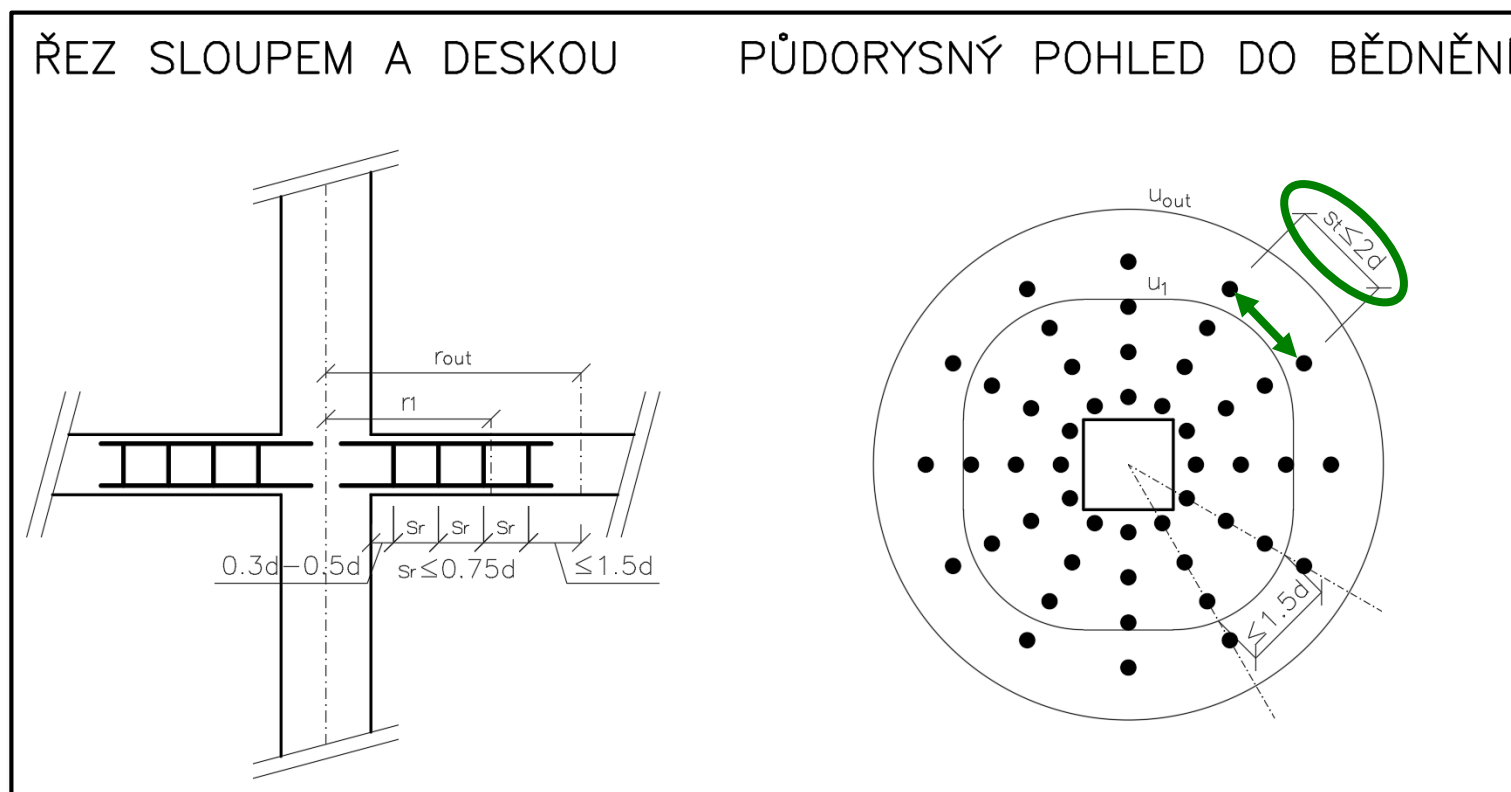
3) **Rozteče** výztužných profilů s_r smí být **maximálně $0.75d_{eff}$** .



Návrh výztuže z betonářské výztuže

Počet a rozmístění smykových lišt určíme pomocí konstrukčních zásad.

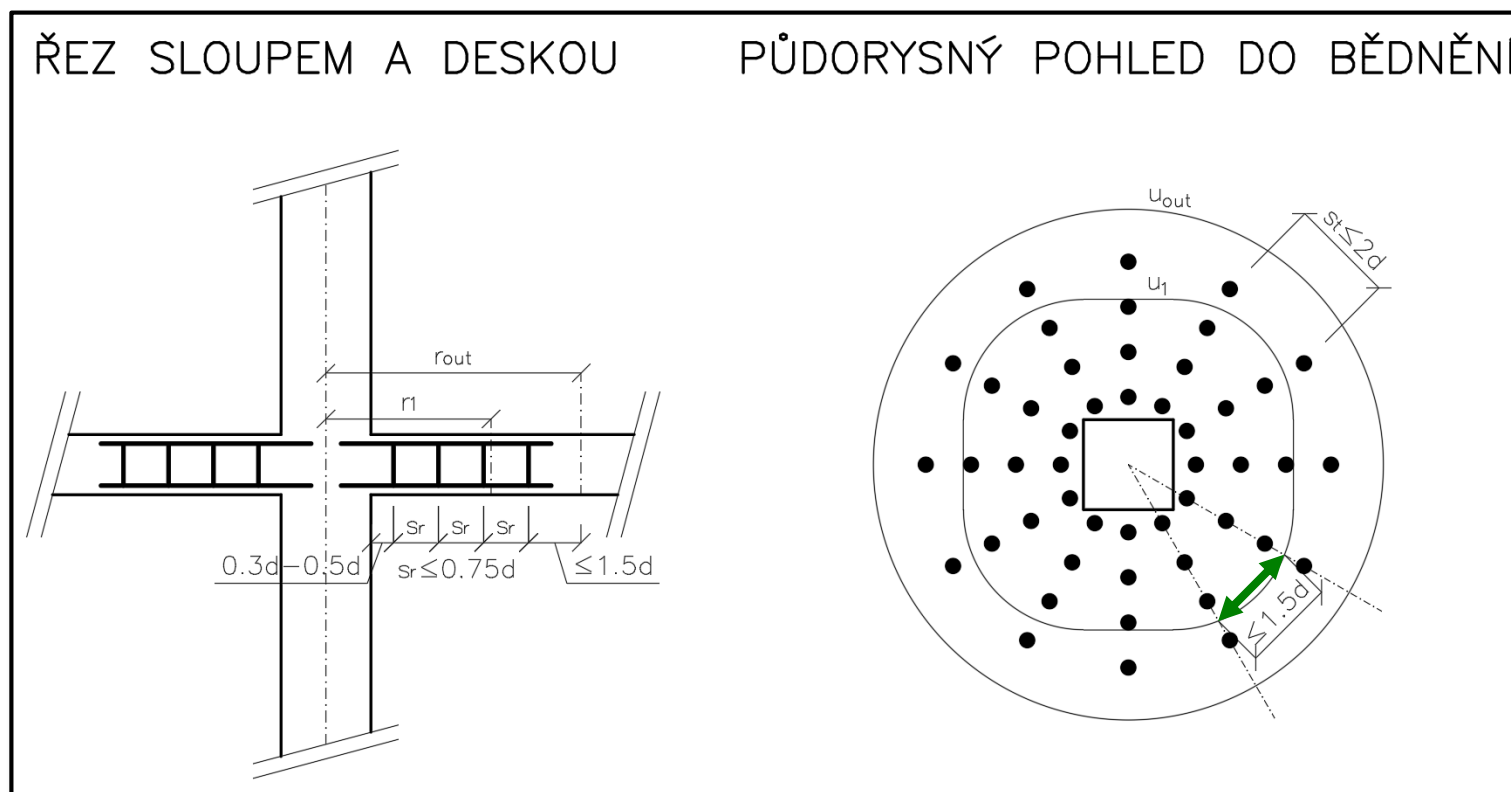
4) **Vzdálenost lišt v tangenciálním směru s_t smí být maximálně $2d_{eff}$.**



Návrh výztuže z betonářské výztuže

Počet a rozmístění smykových lišt určíme pomocí konstrukčních zásad.

5) **Vzdálenost lišt na úrovni obvodu u_1 smí být maximálně $1.5d_{eff}$.**



Návrh výztuže z betonářské výztuže

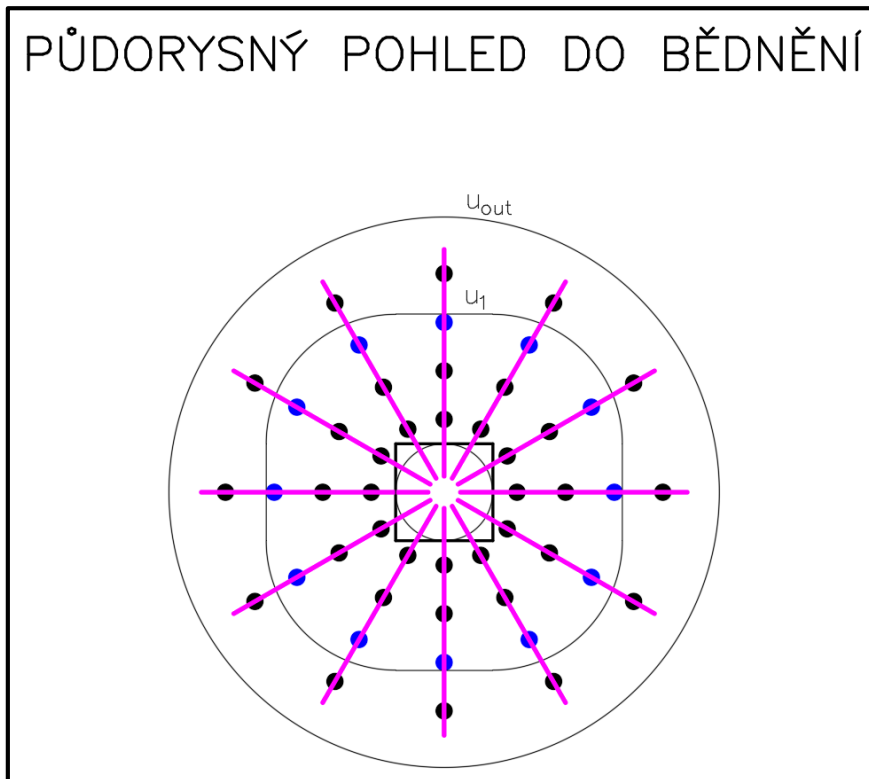
Počet radiálních lišt můžeme vypočítat z podmínek pro maximální vzdálenosti v tangenciálním směru*

$$n \geq \max \left(\frac{2\pi(r_{out} - 1.5d_{eff})}{2d_{eff}}; \frac{u_1}{1.5d_{eff}} \right)$$

Průřezová plocha výztužných profilů **v jednom obvodu** je pak

$$A_{sw} = n(\pi\varnothing_{sw}^2/4),$$

kde profil trnů $\varnothing_{sw}$ zvolíme cca 10 až 14 mm.



Únosnost s navrženou výztuží na protlačení

Po návrhu výztuže můžeme konečně posoudit protlačení s výztuží. **Únosnost** ve smyku **při protlačení** desky **s navrženou smykovou výztuží** určíme jako

$$v_{Rd,cs} = \min \left(0.75v_{Rd,c} + 1.5 \frac{A_{sw}f_{ywd,eff}}{s_r u_1}; k_{max}v_{Rd,c} \right)$$

kde $v_{Rd,c}$ je únosnost v protlačení bez výztuže v obvodu u_1 ,

A_{sw} je průřezová plocha výztužných profilů v jednom obvodu,

$f_{ywd,eff} = \min(250 + d_{eff}/4, f_{yd})$,

d_{eff} je účinná výška desky,

s_r je radiální rozteč profilů,

u_1 je kontrolovaný obvod,

$k_{max} = 1.35 + h_d/2000$,

h_d je tloušťka desky.

Únosnost s navrženou výztuží na protlačení

Po návrhu výztuže můžeme konečně posoudit protlačení s výztuží. **Únosnost** ve smyku **při protlačení** desky **s navrženou smykovou výztuží** určíme jako

$$v_{Rd,cs} = \min \left(0.75v_{Rd,c} + 1.5 \frac{A_{sw}f_{ywd,eff}}{s_r u_1} ; k_{max} v_{Rd,c} \right)$$

První člen vztahu udává samotnou vypočtenou únosnost při protlačení.

Druhý člen vztahu je podmínka udávaná normou, která vyjadřuje to, že při určitém stupni vyztužení je již dosažena maximální únosnost průřezu, a další přidávání výztuže už nezvyšuje únosnost.

Únosnost s navrženou výztuží na protlačení

Posouzení průřezu pak provedeme porovnáním účinků zatížení s únosností

$$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,cs},$$

kde $v_{Ed,1}$ je **účinek** návrhového **zatížení** v obvodu u_1 ,

$v_{Rd,cs}$ je **únosnost** ve smyku při protlačení desky **se smykovou výztuží**.

Únosnost s navrženou výztuží na protlačení

Posouzení průřezu pak provedeme porovnáním účinků zatížení s únosností

$$\frac{\beta V_{Ed}}{d_{eff} u_1} \leq v_{Rd,cs},$$

kde V_{Ed} je celkové návrhové zatížení z jednoho podlaží,
 β je součinitel polohy sloupu,
 d_{eff} je účinná výška desky,
 u_1 je kontrolovaný obvod,
 $v_{Rd,cs}$ je únosnost ve smyku při protlačení desky se smykovou výztuží.

Únosnost s navrženou výztuží na protlačení

Pokud podmínka $v_{Ed,1} \leq v_{Rd,cs}$ **nevyhoví**, musíme **upravit návrh** a **posoudit znovu**.

Možné úpravy návrhu zahrnují

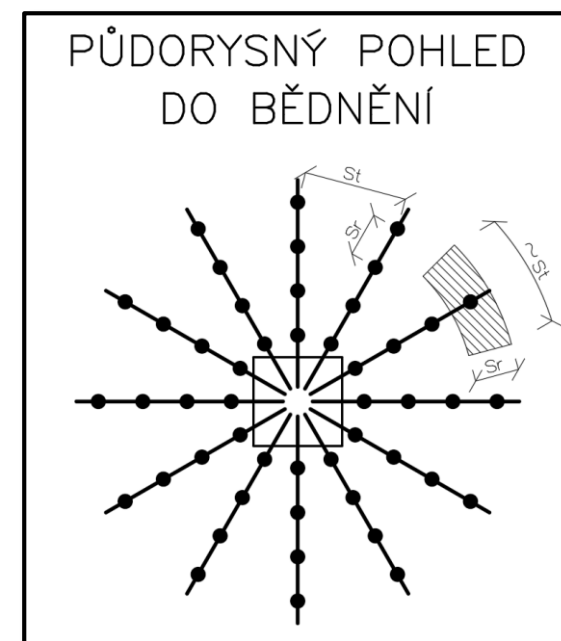
- **zvětšení profilu výztuže**,
- **zmenšení radiální rozteče** s_r (není však vhodné navrhovat rozteč menší než 100 mm),
- **zvětšení počtu lišt**.

Ověření konstrukčních zásad

Nakonec musíme zkontrolovat konstrukční zásadu pro minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{sw} \geq \rho_{sw,min}$$

$$1.5 \frac{\pi \varnothing_{sw}^2 / 4}{s_r s_t} \geq 0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$



Pokud podmínka **nevyhoví**, zvětšíme **profil výztuže**, zmenšíme **radiální rozteč** nebo zvětšíme **tangenciální rozteč** a posoudíme znovu.

Díky za pozornost

Poděkování

Děkuji **Radku Štefanovi, Tomáši Trtíkovi, Romanu Chylíkovi a Hance Schreiberové** za časté konzultace při vypracovávání prezentace.

Děkuji **Stáňovi Zažirejovi** za poskytnutí vizualizací a obrázků.

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