**2. cvičení – Návrh smykové a spřahovací výztuže,**

 **návrh manipulačních úchytů,**

 **skica vyztužení**

## Návrh smykového vyztužení

* Smykovou výztuž ŽB prvků navrhujeme za účelem bezpečného přenesení posouvajících sil, kterými je prvek namáhán. V našem případě budeme smykovou výztuž navrhovat v podobě třmínků.
* Podobně jako u návrhu ohybové výztuže trámu je i zde potřeba rozlišovat dočasnou a trvalou návrhovou situaci.
1. V případě dočasné návrhové situace trámy působí jako prosté nosníky a posouvající síla musí být přenesena na průřezu ***b*T × *h*1** ⇨ **vnější třmínek**
2. V případě trvalé návrhové situace jsou trámy spřažené s deskou, působí jako spojitý nosník a posouvající sílu přenáší průřez ***b*T × *h*T** ⇨ **vnitřní třmínek**

* Hodnoty a průběhy posouvajících sil se vyčíslí ze stejných statických schémat jako ohybové momenty - viz minulé cvičení.
* Výpočet (návrh a posouzení) smykové výztuže byl probírán v rámci bakalářského studia v předmětu NNKB, takže dále jsou pouze pro připomenutí uvedeny vzorce, většinou bez dalšího komentáře.
* Provedeme **ověření průřezu na únosnost tlačené diagonály** podle vztahu:

, kde 

Dříve se doporučovalo volit v prvním kroku cotangens sklonu trhlin cot ** = 2,5, ale nejnovější výzkumy ukazují, že tato hodnota neodpovídá realitě a mělo by se **volit zhruba cot ** = 1,5**. Pokud pro tuto hodnotu podmínka nevyhoví, můžeme snižovat až na cot ** = 1,0. Pokud ani pak nevyhoví, je potřeba zvětšit průřez trámu.

* Trám je uložen na přímé podpoře, takže **sílu pro návrh třmínků** můžeme brát ve vzdálenosti *d*T za lícem podpory (tloušťka podpory je *t* = 380 mm – zdivo HELUZ PLUS 38):



* *Poznámka*: Vzhledem k lineárním průběhům posouvajících sil na trámech by samozřejmě bylo možné ve střední části trámů provést třmínky řidší (odstupňovat různé rozteče třmínků po vzdálenosti *z .*cot **příklad viz Obr. níže. Ve cvičení to ale nebudeme dělat, navrhneme konstantní rozteč třmínků na celém rozpětí.

* **Profil třmínků** jsme odhadli již při návrhu krycí vrstvy, budeme uvažovat **dvoustřižné třmínky** (*n* = 2). Spočteme průřezovou plochu jednoho třmínku:



* **Potřebnou rozteč třmínků** *s* stanovíme z podmínky:



* Návrh bude ve tvaru:

**Třmínek dvoustřižný ∅sw = *X* à *Y* mm**

* **Posouzení třmínků** se provede podle vztahu:



* **Kontrola stupně vyztužení**:



 kde ν je redukční součinitel pevnosti betonu v tlaku: 

* Pokud třmínky nevyhoví nebo nevyjde kontrola min. stupně vyztužení, je potřeba třmínky zahustit, zvětšit profil nebo střižnost. Pokud nevyjde kontrola max. stupně vyztužení, je potřeba zvětšit průřez trámu.

## Návrh spřahovacích prvků

* Z horního povrchu prefabrikované části trámu vyčnívají spřahovací prvky, které zajistí dostatečné spolupůsobení s monolitickou částí
* Tuto funkci plní třmínky, je však potřeba zjistit, zda třmínky navržené z hlediska klasického smyku jsou dostačující pro přenesení podélné smykové síly
* Na styku mezi prefabrikovanou a monolitickou částí působí podélné smykové napětí, jehož velikost je vzhledem k platnosti věty o vzájemnosti smykových napětí rovna velikosti svislého smykového napětí

**Postup výpočtu** (podrobnosti viz dále):

* Spočteme smykové napětí ***v*Ed** ve styčné spáře mezi prefabrikovanou a monolitickou částí (při trvalé návrhové situaci)
* Spočteme potřebnou plochu výztuže ***a*s,s,req**, na základě které provedeme návrh výztuže
* Pro navrženou výztuž spočteme únosnost ve smyku styčné plochy ***v*Rd** (uvažujeme skutečný stupeň vyztužení třmínkovou výztuží *ρ*w, nezapomeneme na omezení hodnotou )
* Posoudíme podmínku pro podélné smykové napětí ve styčné ploše 
* V konečné fázi do trámu navrhneme jako vnitřní třmínky tu větší z dvojice výztuž na smyk (pro trvalou NS) a výztuž na spřažení.
* **Podélné smykové napětí** na styku prefabrikované a monolitické části se spočte jako:



kde: ** je poměr podélné síly v ploše monolitické části průřezu k celkové podélné síle v tlačené nebo tažené části průřezu (*F*mon/*F*c, resp. *F*mon/*F*s ),

 - v našem případě ** = 1,0 (jelikož neutrálná osa bude při záporném ohybovém momentu zajisté ležet v prefabrikované části),

 *V*Ed je návrhová posouvající síla na trámu při trvalé návrhové situaci

 - pro účely návrhu nahradíme skutečný průběh posouvající síly průběhem po částech konstantním (viz obrázek) a návrh provedeme na náhradní hodnotu *V*Ed (v obr. červeně)

 *z*je rameno vnitřních sil (viz posouzení trámu na ohyb),

 *b*i je šířka styčné plochy, v našem případě uvažujeme délku uložení panelů 35 mm, tedy .

* **Návrhová únosnost ve smyku styčné plochy** je dána vztahem:



kde: *c, * jsou součinitele závislé na drsnosti styčné plochy (viz pomůcky),

*f*ctd je návrhová pevnost betonu v tahu, spočte se z charakteristické pevnosti *f*ctk,0.05 (viz pomůcky)

**n je normálové napětí působící kolmo na styčnou plochu, uvažujeme **n = 0,

** je stupeň vyztužení styčné plochy spřahovací výztuží - viz dále,

 je úhel mezi prutem spřahovací výztuže a smykovou plochou - pruty budou kolmé na povrch betonu, takže = 90°

 je redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem, 

* V uvedeném vztahu je jedinou neznámou stupeň vyztužení . Pokud jej stanovíme, budeme schopni navrhnout výztuž. Jelikož musí platit **podmínka spolehlivosti**:



můžeme po dosazení vyjádřit a upravit:



V našem případě lze vztah zjednodušit a dostat vzorec pro požadovaný stupeň vyztužení:



* Stupeň vyztužení se stanoví jako podíl plochy výztuže a velikosti styčné plochy prefabrikované a monolitické části. Pro 1 metr (1000 mm) délky trámu:



* Na 1 metru trámu bude tedy potřeba **plocha spřahovací výztuže**:



* Výztuž navrhneme ve formě **dvoustřižných třmínků**, profil 6 - 8 - 10 - 12 mm, tj. návrh bude ve tvaru:

**Třmínek dvoustřižný ∅ss = *X* à *Y* mm (*a*s,s,prov = *Z* mm2/m)**

* **Skutečný stupeň vyztužení** spřahovací výztužíbude: 
* Provedeme **posouzení únosnosti** spřahovací výztuže:



* *Poznámka*: Vzhledem k lineárnímu průběhu (resp. po částech konstantnímu náhradnímu průběhu) posouvající síly na trámu by samozřejmě bylo možné ve střední části trámu provést spřahovací výztuž řidší. Ve cvičení nebudeme dělat.
* V tuto chvíli máme navržené třmínky pro:
1. přenos posouvající síly v dočasné návrhové situaci ⇨ **vnější třmínek**
2. přenos posouvající síly v trvalé návrhové situaci

⇨ **vnitřní třmínek**

1. spřažení prefabrikované a monolitické části trámu
* V **konečném návrhu** je potřeba profily a vzdálenosti třmínků rozumně sjednotit. Např.:

## Návrh manipulačních úchytů

* **vnitřní třmínek dvoustřižný ∅ 10 mm à 150 mm**
* **vnější třmínek dvoustřižný ∅ 6 mm à 150 mm** nebo **∅ 8 mm à 300 mm**
* Navrhneme oka, za která bude prefabrikovaná část trámu uchycena při manipulaci ve výrobně a na stavbě.

**Výpočet manipulační síly *N*d**

* Síla od vlastní tíhy dílce *F*n = *V* . **bet – součin objemu dílce (uvažovat výšku *h*1!!!) a objemové tíhy železobetonu (25 kN/m3)
* Přilnavost dílce k formě *F*adh = *A*adh .adh – součin plochy formy (tj. povrchové plochy dílce bez horního povrchu) a přilnavosti, uvažovat adh = 2 kN/m2
* Síla v okamžiku vytahování dílce z formy:



kde: **G je dílčí součinitel bezpečnosti pro stálé zatížení, **G = 1,35,

 *n*je počet uvažovaných úchytů, *n* = 2,

 ** je odklon závěsů od svislé, **= 30°.

* Síla při dalších manipulacích (součinitel podmínek působení dílce **man = 1,0 pro dílce, kde se nepočítá s opakovaným použitím):



* Nakonec stanovíme *N*d = max (*N*d1, *N*d2)

**Návrh manipulačních úchytů** (z betonářské výztuže) **namáhaných tahem:**

* Síla, kterou vyvozuje síla *N*d v jedné větvi oka ( je úhel sevřený větvemi oka, zvolit ≤ 45°):



* Nutná průřezová plocha manipulačního úchytu (jedné větve oka):



kde: ** je součinitel průměru oka, *χ*= 0,05*d*s + 0,3 (průměr prutu oka *d*s [mm] v první fázi odhadnout 14 nebo 16 mm),

Rsd je výpočtová tahová pevnost oceli, pro manipulační úchyty se používá hladká ocel EZ 11 373 (aby nedocházelo k přemáhání v místě žebírek), Rsd = 205 MPa.

* Navrhneme potřebný průměr prutu *d*s manipulačního úchytu tak, aby pro jeho průřezovou plochu *A*s,prov platilo:

*A*s ≥ As,req

* Posoudíme navržené oko (s nově stanovenou hodnotou ** dle skutečné hodnoty *d*s:



* Vybereme vhodný **způsob zakotvení** manipulačního oka v trámu - jednu z následujících možností:

* Pro betony třídy C 25/30 a vyšší je minimální kotevní délka *l*b,min = 30*d*s
* Případ *a*) můžeme použít, je-li *l*b,min ≤ (h1 – *c*nom,T) – pro větší profily a nižší trámy nemusí vyjít
* Případ *b*) můžeme použít, je-li 0,5*l*b,min ≤ (h1 – *c*nom,T) – mělo by vyjít všem.
* Případ *c*) můžeme použít, je-li 0,35*l*b,min ≤ (h1 – *c*nom,T) – krajní možnost
* **Napsat, který způsob** kotvení bude **použit**.
* Alternativně je možné použít speciální přepravní úchyty, např. od firmy Halfen (<http://www.halfen.cz/t/19_8155.html>) - navrhují se podle katalogu na sílu *N*d.
* *V případě, že takový typ úchytů použijete ve cvičení, jejich návrh a posudek musíte podrobně doložit dle podkladů výrobce (včetně dodržení pokynů o dalším vyztužení).*
* Navrhněte **polohu manipulačních úchytů** v trámu a doplňte návrh horní výztuže prefabrikované části trámu - fixace třmínků a přenos záporných momentů (koncové konzoly) při manipulaci s prvkem.

## Skica vyztužení

* Na závěr nakreslete schéma vyztužení navrženého prefamonolitického trámu **T1**:
* podélný řez spojitým nosníkem
* příčný řez poblíž vnitřní podpory (včetně nadbetonávky)
* označení a rozkreslení tvaru výztuží

