Příručka uživatele – návrh a posouzení

OBSAH

1. Všeobecné podmínky a předpoklady výpočtu
2. Uvažované charakteristiky materiálů
3. Mezní stav únosnosti – prostý ohyb
4. Mezní stav únosnosti – smyk
5. Mezní stavy použitelnosti
6. Tabelární zpracování a využití pro návrh konstrukce
7. Nestandardní případy použití a postupy při nich
8. Užité podklady, normy a literatura

1. Všeobecné podmínky a předpoklady výpočtu

Předkládané pomůcky pro návrh stropů s užitím spřažených železobetonových „filigránových“ nosníků ve formě tabulek byly zpracovány podle pravidel a ustanovení soustavy evropských norem pro spolehlivost a navrhování konstrukcí, tzv. **EUROKÓDů**, tedy zejména ČSN EN 1990, ČSN EN 1991-1 a ČSN EN 1992-1-1. Výpočty byly tedy provedeny metodou dílčích součinitelů zavedenou právě Eurokódy.

Posuzovanými konstrukcemi jsou obecně deskové prvky vzniklé spřažením prefabrikovaných nosných a výplňových prvků (tedy železobetonových nosníků a dutinových betonových vložek) pomocí zmonolitnění a přebetonování. Výsledná spřažená deska je pak uvažována jako pnutá v jednom směru, tabulky jsou konstruovány pro desky působící jako prosté nosníky.

Tabelární část příručky obsahuje hodnoty mezní únosnosti desek, resp. nosníkových žeber, pro standardizované filigránové nosníky s daným vyztužením a pro vybrané a charakteristické celkové konstrukční tloušťky desek. Ty jsou dány vždy součtem výšky betonové vložky (160, 200 nebo 250 mm) a tloušťky přebetonované desky (40 nebo 60 mm). Vyztužení nosníků a tedy i výsledné konstrukce je dáno výrobním sortimentem firmy GARPET. Svařované příhradoviny jsou standardně tvořeny dvojitými diagonálami z prutů průměru 5 mm, svařovanými s dvojicí prutů hlavní tažené – spodní – výztuže proměnného průměru a s jedním horním prutem průměru 8 mm. Výška příhradoviny je standardně 130 mm a celková výška nosníku je 150 mm.

Současně tabulky obsahují údaje o „štíhlosti“ desek, tedy o poměru rozpětí a účinné výšky průřezu. Poměr l/d se využívá pro posouzení konstrukce v mezním stavu použitelnosti – omezení průhybu.

Při použití tabulek je nutné vycházet z faktu, že jsou zpracovány podle požadavků Eurokódů, a tedy že i výsledné hodnoty únosnosti je nutné takto interpretovat. Stropy z filigránových nosníků jsou primárně určeny pro použití v bytové, příp. občanské výstavbě. Hodnoty mezního výpočtového zatížení bez vlastní tíhy q_d uvedenou v tabulkách je pak třeba porovnávat se zatížením určeným podle Eurokódu 1 pro zatížení (ostatní stálé a nahodilé – užitné). Je tedy nutné uvažovat při posouzení podle EN jak velikosti zatížení, tak dílčí součinitele spolehlivosti zatížení.

Ze způsobu použití vyplývají i požadavky na trvanlivost a souvisící vlastnosti nebo geometrické požadavky. Zásadně se uvažuje s užitím v budovách s nízkou vlhkostí vzduchu, stupeň vlivu prostředí lze tedy označit XC1 podle Tab. 4.1 [1].

2. Uvažované charakteristiky materiálů

Pro statický výpočet provedený při konstrukci tabelárních podkladů byly uvažovány následující materiály a jejich vlastnosti:

- Beton C 20/25 podle ČSN EN 206-1 s charakteristikami
  - f_{ck} = 20 MPa …charakteristická pevnost betonu v tlaku
  - $f_{ckt0,05}$ = 1,5 MPa …charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu
  - γ_c = 1,5 …dílčí součinitel betonu
  - λ = 0,8 …součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti
  - η = 1,5 …součinitel definující účinnou pevnost
  -
  - α_{cc} = 1,0 …součinitel vyjadřující vliv dlouhodobého namáhání na pevnost v tlaku

- Ocel 10 505 (R) podle ČSN 73 1201 s charakteristikami
  - f_{yk} = 490 MPa …charakteristická hodnota meze kluzu oceli
  - f_{ywd} = 490 MPa …návrhová mez kluzu smykové výztuže
  - γ_s = 1,15 …dílčí součinitel oceli

Další vlastnosti betonu a oceli udává ČSN EN 1992-1-1 – pro beton v Kap. 3.1, pro ocel v Kap. 3.2 a v informativní příloze C

Pozn.: pro účely výpočtu je beton třídy C 20/25 uvažován v celém objemu konstrukce. Vliv kvalitnějšího betonu filigránového prefabrikátu je zanedbatelný.

3. Mezní stav únosnosti – prostý ohyb

Výpočet je proveden podle předpokladů Kap. 6.1 [1], s obdélníkovým rozdělením napětí betonu v tlaku podle Obr. 3.5, čl. 3.1.7. Za těchto podmínek jsou použity následující základní vztahy:

$$x = F_{s1} / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}) = A_{s1} \cdot f_{yk} \cdot \gamma_c / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot \gamma_s \cdot f_{yk})$$

$$z = d - 0{,}4 \cdot x = (h - c_{min} - \Delta c_{dev} - \Phi/2) - 0{,}4 \cdot x$$

a mezní ohybový moment je

$$M_{Rd} = F_{s1} \cdot z$$

kde A_{s1} … plocha tažené výztuže
x … výška tlačen oblasti průřezu
z … výpočtové rameno vnitřních sil
c_{min} … minimální krycí vrstva (větší z hodnot průměr prutu a 10 mm, určeno za

předpokladů: třída konstrukce S4 – návrhová životnost 50 let, stupeň vlivu prostředí XC1, maximální zrno kameniva < 32 mm) – viz Kap. 4.4.1 EC 2.

Δc_{dev} .. přídavek na návrhovou odchylku krytí (při uplatnění systému zajištění kvality v hodnotě 5 mm) – viz čl. 4.4.1.3

Základní mezní ohybový moment (moment na mezi únosnosti) je pro každý počítaný případ určen při uvažování průřezu tvaru T s šířkou tlačené příruby 600 mm (osová vzdálenost nosníků). Omezující podmínka pro spolupůsobící šířku desky (5.7) článku 5.3.2.1 EC 2 je vzhledem k malé vzájemné vzdálenosti nosníků a reálným rozpětím vždy splněna – podotýká se, že pro tabulkové výpočty se uvažuje s tím, že zmonolitněné stropní desky působí jako prosté nosníky – viz též Kap. 7.

4. Mezní stav únosnosti – smyk

Výpočty ve všech případech jsou provedeny s užitím předpokladů a podle vztahů Kap. 6.2 EC 2.

Při určení únosnosti ve smyku bez uvažování smykové výztuže se vychází opět z analogie s průřezem tvaru T s konstantní šířkou žebra b_w = 120 mm (pro šířku pásu rovnou osové vzdálenosti nosníků. Návrhová hodnota únosnosti ve smyku pro prvky bez smykové výztuže je:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100.\rho_1.f_{ck})^{1/3} + k_1.\sigma_{cp}] \cdot b_w.d$$

kde $C_{Rd,c} = 0{,}18/\gamma_c$

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2{,}0$

$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \cdot d)$

$k_1 = 0{,}15$

A_{sl} … plocha tažené výztuže zasahující za posuzovaný průřez k podpoře do vzdálenosti min. $(l_{bd} + d)$

σ_{cp} … napětí v ploše betonového průřezu od normálové síly nebo předpětí. V tomto případě je rovno 0.

Pro nosníky (desky) vyžadující návrh smykové výztuže (tedy v případech, kdy nevyhovuje hodnota $V_{Rd,c}$) se postupuje podle vztahu pro prvky se skloněnou smykovou výztuží, kdy únosnost ve smyku je:

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \sin\alpha \cdot (\cot\Theta + \cot\alpha)/s$$

kde A_{sw} … průřezová plocha smykové výztuže

s …. osová vzdálenost třmínků (tažených diagonál svařované výztuže filigránového nosníku). Konstantní hodnota je s = 200 mm

z …. Rameno vnitřních sil uvažované hodnotou z = 0,9 d

α …. úhel mezi smykovou výztuží a osou nosníku kolmou na posouvající sílu

Θ .... úhel mezi betonovými tlakovými diagonálami a osou nosníku kolmou na posouvající sílu. Při omezení $1 < \cot\Theta < 2{,}5$ se konzervativně uvažuje s hodnotou $\cot\Theta = 1$

Hodnota $V_{Rd,s}$ se pak porovnává s mezní smykovou únosností $V_{Rd,max}$ podle vztahu (6.14). S ohledem na konstantní smykové vyztužení všech prvků svařovanou příhradovinou je

hodnota únosnosti ve smyku proměnná pro různé nosníky v závislosti prakticky jen na výšce průřezu – rameni vnitřních sil. Při výpočtu se uvažuje konstantní výztuž dvěma pruty průměru 6 mm skloněnými pod úhlem $\alpha = 50°$, a s konzervativní (bezpečnou) hodnotou $\cot\Theta = 1{,}0$. Při určení maximálního rovnoměrného zatížení nosníku (deskového pásu šířky 600 mm) se využije pravidlo (5) č. 6.2.3 – smykovou výztuž lze počítat na nejmenší hodnotu na přírůstku délky $l = z \,.\, (\cot\Theta + \cot\alpha)$.

5. Mezní stavy použitelnosti

Pro stropy realizované s použitím zmonolitněných filigránových nosníků se uvažují mezní stavy omezení trhlin a omezení průhybů.

Vznik trhlin se připouští a musí být omezeny tak, aby nedošlo k narušení řádné funkce nebo trvanlivosti konstrukce, případně k nepříznivému ovlivnění jejího vzhledu. Vzhledem k tomu, že převážnou část konstrukce tvoří betonové skládané vložky, není ovlivnění vzhledu šířkou trhliny relevantní. Pro stupeň vlivu prostředí XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost a doporučená hodnota $w_{max} = 0{,}4$ mm může být i zvětšena – viz ustanovení čl. 7.3.1, Tab. 7.1N.

Omezení průhybu se v převážné většině případů nemusí prokazovat výpočtem, lze použít ustanovení čl. 7.4.2 EC 2. Pokud jsou železobetonové desky dimenzovány tak, že splňují omezující hodnoty poměru rozpětí k účinné výšce podle tohoto článku, lze předpokládat, že průhyby nepřekročí mezní hodnoty podle 7.4.1 (4) a (5). Pro vzhled a obecnou použitelnost konstrukce se běžně uvažuje s mezní hodnotou průhybu 1/250 rozpětí. Mezní poměr rozpětí k účinné výšce se určí ze vztahů (7.16a) a (7.16b). Základní poměry rozpětí k účinné výšce udává Tab. 7.4N EC 2. Pro prostě podepřený nosník a slabě namáhaný beton (při stupni vyztužení $\rho = 0.5$ %) udává tabulka hodnotu poměru 20. Jedná se o hodnotu určenou za předpokladů C 30 a $\sigma_s = 310$ MPa. Upozorňuje se, že tato hodnota je obvykle konzervativní a výpočtem lze často prokázat, že jsou možné štíhlejší prvky.

6. Tabelární zpracování a využití pro návrh konstrukce

Souborem výpočtů s užitím uvedených vztahů a tabulkového procesoru (MS EXCEL) byly vytvořeny tabulky pro navrhování stropních konstrukcí s využitím filigránových nosníků firmy GARPET. Tabulky mají sloužit jako podklad pro projektanty, stavebníky a jiné uživatele k rychlému a spolehlivému návrhu konstrukce bez přímého výpočtu, podmínkou správného použití je dodržení následujících předpokladů:

- výpočty jsou provedeny podle zásad Eurokódů, tedy metodou dílčích součinitelů, a všechny výstupy je tak třeba chápat a používat. Jedná se zejména o určení přípustného zatížení konstrukce, tedy ostatního stálého a nahodilého. Zde je nutné používat hodnoty dané EN 1991-1, zejména objemové tíhy materiálů, velikosti nahodilých zatížení a součinitele spolehlivosti
- tabulky jsou zpracovány pro nosníky (desky) prostě uložené, s užitím betonu C 20/25 pro zmonolitnění, pro vyztužení dané výrobním programem a konstantní výšku nosníků 150 mm (výška svařované výztužné příhradoviny 130 mm). Pro jakékoliv jiné charakteristiky nebo statické působení musí být zpracován individuální statický výpočet

Tabulky obsahují tyto základní údaje:

A. – tabulka vstupních hodnot
   - geometrické údaje - výška vložky, nadbetonávky a celková tloušťka desky
   - údaje o vyztužení – průměr a počet vložek, stupeň vyztužení
   - výpočtové geometrické charakteristiky – krytí, účinná výška průřezu, výška tlačené části průřezu, rameno vnitřních sil
   - mezní ohybová a smyková únosnost pro pás desky šířky 600 mm (jeden nosník) - M_{Rd},$V_{Rd,c}$

B. – výsledková tabulka
   - geometrické údaje o konstrukci – délka nosníku, světlé rozpětí pole, výška vložky a nedbetonávky, poměr rozpětí a výšky průřezu l/d
   - výpočtové údaje o únosnosti a to:
      - výpočtová zatížitelnost desky - hodnota $g_{d,max}$ [kN/m^2] – extrémní výpočtová hodnota zatížení kromě vlastní tíhy konstrukce pro desku š. 1 m, tedy součet všech ostatních stálých a nahodilých (užitných) zatížení
      - mezní ohybový moment pro jeden nosník - pás desky šířky 600 (resp. 625) mm - M_{Rd}, [kNm]
      - mezní smyková únosnost pro jeden nosník - pás desky šířky 600 (resp. 625) mm bez započtení smykové výztuže - $V_{Rd,c}$ [kN]
      - mezní smyková únosnost pro jeden nosník - pás desky šířky 600 (resp. 625) mm se započtením vlivu smykové výztuže - $V_{Rd,s}$ [kN]
      - mezní hodnota poměru (teoretického) rozpětí a výšky průřezu (celkové tloušťky desky) l/d_{lim}
      - upravená mezní hodnota poměru (teoretického) rozpětí a výšky průřezu (celkové tloušťky desky) $l/d_{lim,mod}$, určené pro hodnoty výpočtového ohybového momentu a napětí ve výztuži pro případ použití s daným zatížením

Běžný postu při užití tabulek:
- na základě známé geometrie konstrukce (rozpětí desek, výškové požadavky, stavební řešení objektu atd.) a podle zatížení plynoucího z využití stavby (užitné nahodilé) a z dalších vestavěných prvků (podlahy, omítky, příčky apod.) se vybere odpovídající nosník podle výrobního sortimentu
- porovná se výpočtová hodnota skutečně působících zatížení – sumace ostatních stálých kromě vlastní tíhy a nahodilých zatížení) s tabulkovou hodnotou $g_{d,max}$
- posoudí se účinky smyku – výpočtová hodnota posouvající síly V_{Rd} se porovná s mezní smykovou únosností . Upozornění – hodnoty $V_{Rd,c}$ a $V_{Rd,s}$ platí pro pás desky o šířce rovné osové vzdálenosti nosníků!
- posoudí se skutečný poměr l/d („štíhlost“) s mezní hodnotou l/d_{lim} , resp. při splnění podmínek použití s daným („idealizovaným“) zatížením v charakteristických hodnotách. To je pro tento výpočet uvažováno takto:
   i. stálé vlastní tíhou konstrukce
   ii. stálé vrstvami podlahy a podhledu v hodnotě 1,35 kN/m^2
   iii. kvasistálá (dlouhodobá, trvalá) složka nahodilého zatížení pro byty 0,5 kN/m^2
- Pokud bude mezní poměr překročen (zejména u silně vyztužených vyztužených nosníků a pro velká rozpětí), je třeba provést přesnější výpočet.

V případě, že posouzení pro mezní stavy únosnosti nevyhoví, je nutné zvolit jiný průřez (větší výšku – tloušťku nabetonování, příp. vložky, větší vyztužení), v případě smyku lze navrhnout doplňující vázanou výztuž pro přenesené smykových účinků, např. ve formě ohybů. V případech, kdy štíhlost navržené desky při splnění požadavků mezních stavů únosnosti překročí mezní tabulkovou hodnotu, provádí se podrobnější posouzení průhybů. V prvním kroku je možné vynásobit hodnoty mezního poměru (určené podle vztahu (7.16b EC 2) poměrem 310/σs, kde napětí ve výztuži ss v MPa se určí pro mezní stav použitelnosti s užitím charakteristických (normových) hodnot zatížení a pro kvazi stálou kombinaci zatížení. Teprve pokud štíhlost nevyhoví ani takto upravené mezní hodnotě, bude proveden přesnější výpočet průhybu s užitím zásad a vztahů podle čl. 7.4.3 normy.

7. Nestandardní případy použití a postupy při nich

Filigránové nosníky je možné použít i pro řadu jiných statických uspořádání než standardně uvažovaný prostý nosník, případně pro místa s netypickou skladbou. V těchto případech se postupuje při statickém návrhu a posouzení individuálně. Níže uvádíme některé typické příklady a příslušné požadavky na postup při řešení.

- jiná tloušťka nabetonované vrstvy nad vložkami. Kromě standardně uvažovaných tlouštěk 40 a 60 mm je možné realizovat stropní konstrukce s prakticky libovolnou výškou a tedy i tloušťkou nabetonávky. Při výpočtu se postupuje podle běžných výše uvedených pravidel a vztahů. Obecně platí, že s rostoucí výškou roste zhruba lineárně únosnost.

- užití jiné než standardní výztuže, případně doplnění dalších vložek neintegrovaných do filigránového nosníku. Možnost výroby s netypickým vyztužením nosníků musí být předem projednána s výrobcem. V případě pouze prosté změny integrovaných vložek (hlavních podélných prutů, případně diagonál smykové příhradové výztuže) se opět postupuje podle výše uvedených vztahů a provede se běžný individuální výpočet. Pokud se na stavbě vkládá další podélná vložka na horní líc betonového základu filigránu. Je třeba upravit výpočtové vztahy v souladu s pravidly čl. 6.1 EC 2 – napětí v betonářské oceli jsou odvozena z návrhových diagramů v čl. 3.2. a 3.3 v závislosti na poměrném přetvoření s lineárním průběhem podle Obrázku 6.1 normy. Upozorňuje se na fakt, že výztuž umístěná dále od okraje průřezu, tedy dodatečně vkládané pruty, není plně a efektivně využita.

- užití nosníků při vytváření desek spojitých nad podporami, případně vetknutých do podpor. Jde o běžná statická schémata, při nichž jsou tažené části průřezu v oblastech podpor u horního líce desek. Vždy je třeba doplnit výztuž u horního líce tak, aby byly tzv. záporné ohybové momentu spolehlivě vykryty. To je možné dosáhnout vložením výztuže vázané z jednotlivých prutových vložek, případně e svažovaných sítí. Při výpočtu ohybové únosnosti je pak nutné vycházet z předpokladu,, že spodní tlačená část desky musí být uvažována v šířce dané pouze výrobní šířkou nosníků a jejich osovou vzdáleností /tedy běžně 120 mm po 600 mm).
  Upozorňuje se rovněž na to, že při kombinaci ohybu (záporného momentu s tahem u horního líce) a smyku je třeba individuálně řešit smykovou únosnost – diagonály

příhradoviny nejsou v tomto případě účinně zakotveny v tlačené nebo neutrální části průřezu. Doporučuje se doplnit v těchto případech i smykovou výztuž ve formě ohýbaných prutů.

- skladba stropu využívající sdružování dvou a více nosníků. Za základ výpočtu je možné vzít hodnoty únosnosti pro jednotlivý nosník. Při určení mezního ohybového momentu se musí podle skutečné skladby ve výpočtu upravit šířka průřezu (tlačené oblasti) a to jak pro kladné, tak pro záporné ohybové momenty. Postupuje se pak standardně podle vztahů uvedených v Kap. 3 této příručky. Při posouzení smyku je možné jednoduše sčítat tabelární hodnoty smykové únosnosti jednotlivých nosníků podle jejich navrhovaného počtu.

- přítomnost větších lokálních účinků – osamělých břemen – v zatížení navrhované konstrukce vyvolává nutnost posoudit individuálně jak mezní ohybový moment, tak zvláště smykovou únosnost. V takovém případě nelze využít ustanovení o minimální hodnotě posouvající síly na přírůstku délky – viz Kap. 4 výše. Případná nutná smyková výztuž se posuzuje podle zásad Kap. 4 a Kap. 6.2 normy

- individuální výpočet se požaduje i v případě možných použití nosníků jako tzv. výměn, tedy o větších prostupů, schodišť apod. Výpočet musí respektovat reálně navrhované geometrické vlastnosti (např. sdružování nosníků), způsob přenosu sil (lokální namáhání v hlavních podélných nosnících od účinků příčných výměn), skutečně působící zatížení (např. reakce schodišťových desek) i konstrukční požadavky na řešení detailů (např. nutnost zavedení poloviny hlavní nosné výztuže u spodního líce nosníku do podpory)

8. Užité podklady, normy a literatura

[1] ČSN EN 1992-1-1:2006 (73 1201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (idt EN 1992-1-1:2004)

[2] ČSN EN 206-1 (73 2403) Beton. Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

[3] ČSN EN 1990 :2004 (73 0002) Eurokód : Zásady navrhování konstrukcí

[4] ČSN EN 1991-1-1:2004 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

[5] ČSN P ENV 13 670-1 (73 2400) Provádění betonových konstrukcí. Část 1: Společná ustanovení

V Praze, 09.2007 Ing. Richard Schejbal