

STATICKÉ VÝPOČTY A NAVRHOVÁNÍ PŘEDPJATÝCH BETONOVÝCH PREFABRIKÁTŮ

STATIC ANALYSIS AND DESIGN OF PRESTRESSED PRECASTED CONCRETE BEAMS

LIBOR ŠVEJDA

Na současné stavebnictví je stále častěji kladen požadavek realizovat i komplexní stavební objekty v co nejkratším možném termínu. V těchto případech jsou to pak zejména prefabrikované stavební dílce, které umožňují dosáhnout efektivní výroby a rychlou montáž. V závislosti na rozpětí nosné konstrukce a požadované štíhlosti dílců se u pozemních a mostních staveb s rostoucí oblibou využívají předpjaté nosníky popř. spřažené s monolitickou dobetonávkou. Podrobná statická analýza a hospodárný návrh těchto náročných konstrukčních prvků se neobejdou bez odpovídajícího softwarového vybavení.

Building industries has nowadays to face to the demand of engineering even complex building objects in a possibly shortest schedule. Under these circumstances especially precasted elements provide effective production and assembly. Depending on the span of a construction and the required slenderness of parts prestressed beams, eventually in composite with cast-in-situ concrete, are being used in preference. A detailed static analysis and an economical design of such sophisticated units are not possible without matching software.

Na současné stavebnictví je stále častěji kladen požadavek realizovat i komplexní stavební objekty v co nejkratším možném termínu. V těchto případech jsou to

zejména prefabrikované stavební dílce, které umožňují dosáhnout požadovanou efektivní výrobu a rychlou montáž. Specializovaný software RIB RTfermo podporuje zvýšené nároky přípravy stavební výroby rychlým a spolehlivým výpočtem a návrhem prefabrikovaných nosníků a umožňuje zkrácení procesu přípravy stavby. Program optimálně podporuje zejména statické navrhování předpjatých prefabrikátů popř. dodatečně spřažených s monolitickou deskou. Ve výpočtu je navíc volitelně zohledněna i historie statického systému. Do té spadají zejména stavy systému při uskladnění, transportu, montáži popř. i s pomocnými stojkami a vlastní provozní stav. Posouzení probíhá volitelně dle norem EC2-1, DIN 1045-1, DIN-FB102 nebo ÖNORM B4700.

Zadání probíhá v kontextovém, grafickém panelu s přehlednými, tematickými záložkami. Grafická schémata se přitom okamžitě přizpůsobují zadaným hodnotám, což poskytuje okamžitou vizuální kontrolu. Zadání i výstupy se omezují na nejnútnejší praktické údaje.

KOMFORTNÍ UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ

Představovaná verze (RTfermo 5.0) je nově vyvinutým nástupcem již osvědčeného programu na statické výpočty a posouzení předpjatých prefabrikovaných nosníků. Jedná se o časté konstrukční dílce jak pozemních, tak i mostních staveb. Nová programová verze, orientovaná ještě výraznějším způsobem na požadavky stavební praxe a aplikaci nejmodernějších výpočetních metod, umož-

ňuje zohlednit změny statického systému ve stavebních stavech, např. následnou betonáž monolitické desky. Stejně jsou zohledněny vlivy dotvarování, smršťování a relaxace. Efektivně lze zpracovávat nejrůznější typy nosníků, vazníků popř. i s prostupy, ozuby a převýslými konci, např.:

- nosníky s lineárně proměnným průběhem průřezu,
- nosníky s předpětím v lící formě, předpětím bez soudržnosti nebo s okamžitou, resp. dodatečnou soudržností,
- nosníky s vícestupňovým předpětím a popř. i zcela bez předpětí.

K výpočtu statického systému program interně využívá technologie nelineárního řešiče FEM TRIMAS, přitom současně zohledňuje časově závislou redistribuci namáhání předpjatých, popř. spřažených průřezů. Zadání geometrie a vlastností předpínacích kabelů probíhá v jejich integrovaném, grafickém zadání.

KOMPLEXNÍ A VÝKONNÝ SOFTWARE

Program řeší následující úlohy:

- časová skladba průřezů a charakteristiky průřezů pro různé typy nosníků (historie průřezů),
- vnitřní účinky se zohledněním historie statického systému zatíženým vnějším namáháním na rovinný ohyb s normálovou silou, smyk a kroucení (historie zatížení),
- vnitřní účinky způsobené jedno až dvoustupňovým předpětím (historie předpětí),



Obr. 1 Hlavní panel
RTfermo 5.0

Fig. 1 The main dialog
of RTfermo 5.0



Obr. 2
Parametrický tvar
průřezu

Fig. 2 The parametric
shape of a cross
section

- až v šesti rozhodujících časech návrhy dílce na MSÚ, MSP a MS únavy, integrované návrhy konstrukčních detailů, zohlednění efektů dotvarování, smršťování a relaxace,
- deformace nosníku s uvažováním I. a II. MS a účinků dotvarování, smršťování a relaxace,
- základní posouzení stability dle Manna; volitelně nelineární výpočet MKP reálné únosnosti výpočtem ve II. MS.

SNADNÁ OBSLUHA

Program umožňuje řešení komplexních inženýrských úloh z oblasti prefabrikovaných konstrukcí. O to důležitější je z hlediska výkonnosti efektivní uživatelské prostředí na výpočty a navrhování spřažených nosníků.

Vstupní modul plně vyhovuje tomuto požadavku zejména díky snadnému zadávání statického systému v přehledných panelech, logicky uspořádaných do jednotlivých registrů, kontextově senzitivním grafickým schématům a automatickému okótování. Rychlé úpravy vlastních, typizovaných dílců podporuje propracovaná technologie šablon. Tímto způsobem lze s minimální pracností spolehlivě zpracovávat často se opakující případy.

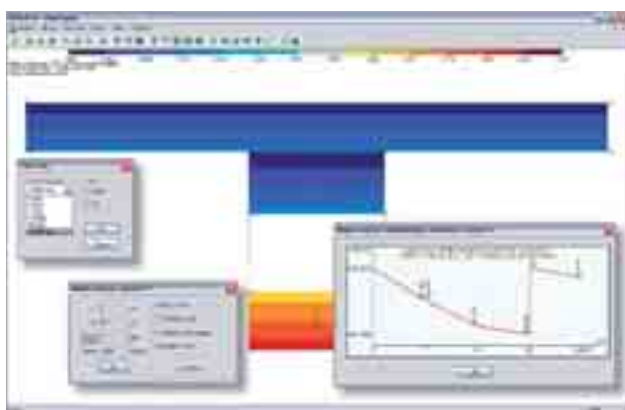
Praktické tvary průřezů nosníku

Popis složení průřezu probíhá jednoduše zadáním rozměrových parametrů prefabrikátu a obdélníkového průřezu monolitické desky. Polohy charakteristických bodů průřezu lze v případě zvláštních požadavků i cíleně upravovat.

Oba zmíněné tzv. dílčí průřezy mají zpravidla odlišné betonové materiály. Pro průřez prefabrikátu jsou parametrizovány

Obr. 4 Zobrazení časového průběhu napětí v průřezu

Fig. 4 Stress history in a cross section



Obr. 3 Volba materiálů a vlivů na D+S

Fig. 3 The main dialog of RTfermo 5.0



nejčastější typy průřezů: obdélník, deska, průřez T a průřez I s náběhy.

Příčné prostupy a ozuby

Příčné obdélníkové prostupy jsou zadávány v interaktivním panelu. Ozuby se konstruují prostřednictvím jejich výšky a šířky přímo při definici bodů uložení nosníků. Namísto absolutně tuhé podpory mohou být zadány, resp. pomocí asistenta uložení spočteny, tuhosti elastického uložení. Vedle zohlednění těchto konstrukčních detailů při návrhu na ohyb probíhá automatizovaně i jejich detailní návrh.

Tvary nosníků

Přípustné jsou libovolné tvary přímých nosníků s jedním polem, s nebo bez převislých konců. V nejčastějších případech je možné nosníky generovat pomocí šablon jako nosníky s rovnoběžným průběhem horní a dolní pásnice, symetrické nosníky se sedlem, resp. zářezem, nesymetrické nosníky se sedlem, resp. zářezem, nosníky pultových střeš, a to včetně zesílení a náběhů v oblasti podpor.

Statické systémy

Statický systém je uvažován jako staticky určitý. Zvláštní případy statického systému, max. se dvěma pomocnými stojka-

mi, jsou uvažovány pro skladování, transport a montáž.

U staticky neurčitých systémů mohou být na koncích nosníku přímo zadány vnitřní účinky stanovené v jiných externích aplikacích.

Normové, vysokopevnostní a uživatelské materiály

Standardní vlastnosti betonu, měkké výztuže a předpínací výztuže dle zvolené normy mohou být převzaty z integrované databanky. Vlastnosti materiálů lze dle požadavků uživatele i upravovat.

Dotvarování, smršťování a relaxace

Pro popis efektů dotvarování, smršťování a relaxace se využívá časová charakteristika materiálů $\sigma - \epsilon - t$. Veškeré změny napjatosti v popř. i spřaženém průřezu vlivem vnějšího zatížení, předpětí, dotvarování, smršťování a relaxace jsou stanovovány zvláštním výpočtem s časově závislými materiálovými charakteristikami ve smyslu požadavků aktuálních norem EC 2 a DIN. Pro každý zadaný čas tak lze vyhodnocovat redistribuovaná napětí v průřezu.

Obr. 5 Kontrolní panel součinitelů

Fig. 5 Settings of partial and combination factors





Obr. 6 Panely volby a vedení předpínacích kabelů

Fig. 6 Settings dialogs of prestressing steel, tendons, cables and cableways

Zatížení

Vnější krátkodobá a dlouhodobá namáhání vytvářející rovinný ohyb, normálovou sílu, smyk a kroucení jsou zadávána jako osamělá břemena a lichoběžníková zatížení. Vlastní tíha je stanovena automaticky. Teplotní namáhání lze zadat jako teplotní spád. Automaticky jsou generovány zatěžovací stavy od uvolnění pomocných stojek. Počet zatěžovacích stavů není omezen. Historie zatížení je popsána časovým sledem dlouhodobých zatížení s vlivem na dotvarování. Normové kombinace vnitřních účinků s odpovídajícími kombinacími součiniteli jsou generovány rovněž automaticky.

Spočtené kombinace se dále přiřazují jako rozhodující návrhové účinky k jednotlivým návrhům dle MSÚ, MSP a MS únavy, které pak opět automatizovaně probíhají přes všechny aktivní stavy statického systému (transport, montáž, pomocné stojky a konečný stav).



Vedení předpínacích kabelů

Vedle předpínání prefabrikátu v licí formě soustavou více lan je možné dodatečně předpětí se soudržností nebo vůbec bez soudržnosti.

Oddělením zvoleného počtu lan v zadané délce od koncových hran nosníku lze dosáhnout jejich požadované separace. Nárysná geometrie kabelů je popsána navazujícími úseky kubické paraboly a přírmeck, které jsou automaticky prokládány požadovanými výškovými body podél nosníku. U předpětí s dodatečnou soudržností je možné zadat až čtyři předpínací podmínky. Historie účinků předpětí vyplývá až ze dvou možných časů aktivace (zainjektování) jednotlivých kabelů.

Materiálové a fyzikální vlastnosti nejrozšířenějších předpínacích systémů jsou k dispozici v integrované databance.

Globální časová osa

Významné body globální časové osy vyplývají automaticky z historie statického systému, průřezů, zatížení a předpětí. Základní časovou jednotkou jsou dny. Každá změna na časové ose představuje začátek nového intervalu dotvarování. Počet intervalů dotvarování je z praktických důvodů omezen na šest.

Návrhy na MSÚ

Na mezním stavu únosnosti jsou se započtením minimální konstrukční výztuže vedeny tyto návrhy:

- rovinný ohyb s normálovou silou,
- smyková únosnost stojiny a styku stojina – pásnice,
- návrh smykové spáry mezi prefabrikátem a monolitem,

Obr. 8 Panely voleb návrhů

Fig. 8 Design settings



Obr. 7 Panel definice podmínek předpětí

Fig. 7 Settings of prestressing conditions

- torzní únosnost stojiny,
- posouzení stability nosníku,
- návrhy detailů: prostupy, ozuby, kotevní oblast předpínací výztuže.

Návrhy na MSP a MS únavy

Na mezním stavu použitelnosti a mezním stavu únavy jsou pro již spřažený nosník vedeny návrhy a posouzení

- pro rozhodující kombinace dle požadavků zvolené normy kontrola omezení napětí,
- stabilita a omezení šířky trhlin,
- kontrola deformací v I. a II. MS se započtením dotvarování, smršťování a relaxace, s redistribucí napětí na průřezu při uvažování lineárního dotvarování a smršťování a nelineární složky dotvarování,
- v případě mostní normy návrh na mezní stav únavy (DIN-FB 102).

VÝSTUPY A ŘÍZENÍ NÁVRHŮ

Nastavením požadovaných návrhových parametrů a individuální volbou rozsahu výstupů lze snadno získat požadované výstupy v obvyklém standardu konkrétní inženýrské kanceláře. Dále lze např. tisknout výsledky pouze pro zvolené návrhové řezy, navrhovat konstrukční detaily a až v šesti časových krocích kontrolovat časově závislá napětí v průřezech.

Výsledky lze zobrazovat rovněž interaktivně na zvoleném řezu nebo formou průběhů vnitřních účinků relevantních zatěžovacích a kombinací stavů na nosníku.

POSUDEK STABILITY NELINEÁRNÍM VÝPOČTEM VE II. MS

Posouzení stability nosníku se zohledněním geometrické a materiálové nelinearity



ty výpočtem vnitřních účinků ve II. MS je zcela novým funkčním rozšířením. Vedení návrhu probíhá automatizovaně výpočtem reálně únosného zatížení pro požadované zatěžovací stavy, resp. jejich kombinace a zvolená stadia statického systému. Při tomto, z hlediska aplikované technologie vysoce náročném výpočtu, se jedná o řešení nelineárního, prostoroového, stabilitního problému MKP. Program tak v sobě integruje a automatizovaně řídí výpočet FEM TRIMAS.

Uvedený výpočetní model současně zohledňuje zvolené počáteční imperfekce v libovolném směru – řešení tedy nutně obsahuje i šikmý ohyb. Navíc se dále uvažuje spolupůsobení porušeného betonu mezi trhlinami – tzv. tension stiffening.

Zcela výjimečnou a zásadní vlastností programu je zohlednění skutečných tuhostí nosníku ve výpočetním modelu, tedy i započtení vlivů příčných prostupů. Posouzení probíhá ve smyslu norem EC 2 5.7 (4)P – „podvojně účtování“, resp. DIN 1045-1, 8.5.1 (3), (5).

REKAPITULACE ZÁKLADNÍCH VLASTNOSTÍ

- realistický výpočetní model, posouzení stability štíhlých nosníků (s předpětím nebo bez),
- realistické zohlednění stavebních stádií (uskladnění, transport, konečný stav),
- hospodárné návrhy pro vysoce namáhané dílce,
- návrhy a posouzení dle EC2 a DIN 1045-1, DIN-FB102a ÖNORM B4700.

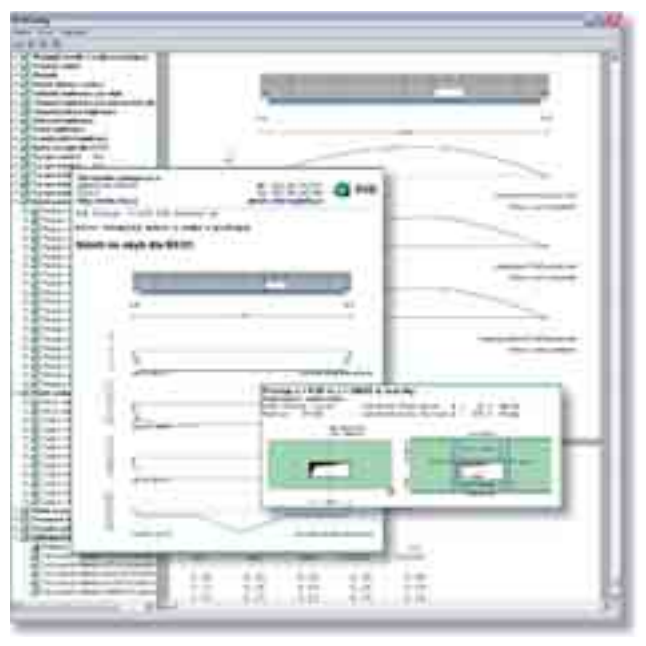
VÝSTUP VÝSLEDKŮ

Před vlastním výstupem je možná konfigurace a úprava výsledkové sestavy. V přehledném panelu lze zvolit protokolované návrhové řezy, požadované výsledky a grafiky systému a průběhů relevantních veličin.

- Vedle kompletního protokolu zadání lze tisknout:
- průřezové charakteristiky v závislosti na historii průřezu a předpětí,
 - vnitřní účinky a reakce v uložení v závislosti na historii zatížení a napětí,
 - rozhodující kombinace vnitřních účinků pro návrhy,
 - výsledky návrhů včetně nutné a minimální výztuže.

Výstupní sestavy mají formu přehledných tabulek a grafických průběhů. Pomocí nového nástroje na výstup sestav mohou být tištěny veškeré tabelární a grafické výsledky dle individuálních požadavků konkrétní inženýrské kanceláře. Možný je i přímý export do formátu RTF (MS Word).

Ing. Libor Švejda
RIB stavební software, s. r. o.
Zelený pruh 1560/99, 140 00 Praha 4
tel.: 241 442 078, 241 442 079
e-mail: info-cz@rib.cz, www.rib.cz



Obr. 9 Stabilita nosníku nelineárním výpočtem MKP
Fig. 9 Stability check of the beam by a non-linear FEM analysis

Obr. 10 Náhledy na protokoly výsledků
Fig. 10 Preview of results and listing

Předpjaté prefabrikáty – statika a navrhování

„Nic není nemožné“, toto platí pro novou generaci softwaru **RIB RTfermo 5.0** na výpočty a statické návrhy předpjatých prefabrikátů pozemních a mostních staveb.

Integrovaný nelineární řešič FEM TRIMAS® poskytuje realistické výsledky výpočtu deformací a zajištění stability nosníků **s uvážením II. mezního stavu**. Rozšířené návrhy na MSÚ, MSP a MS únavy, **integrováné návrhy příčných prostupů, ozubů a kotevnicích oblastí kabelů** a ergonomická optimalizace vstupů a výstupů poskytují zvýšenou jistotu návrhu a uživatelský komfort.

RTfermo vychází vstřícně praktickým požadavkům na maximální **aplikační a cenovou flexibilitu**. Nabízí se tak ve třech základních funkčních variantách, s možným volitelným rozšířením **Stabilita**.

Více informací se dozvíte na: >> www.rib.cz

RIB stavební software s.r.o.
Zelený pruh 1560/99
CZ-140 00 Praha 4
telefon: +420 241 442 078
telefax: +420 241 442 085
email: info@rib.cz

<http://www.rib.cz>

