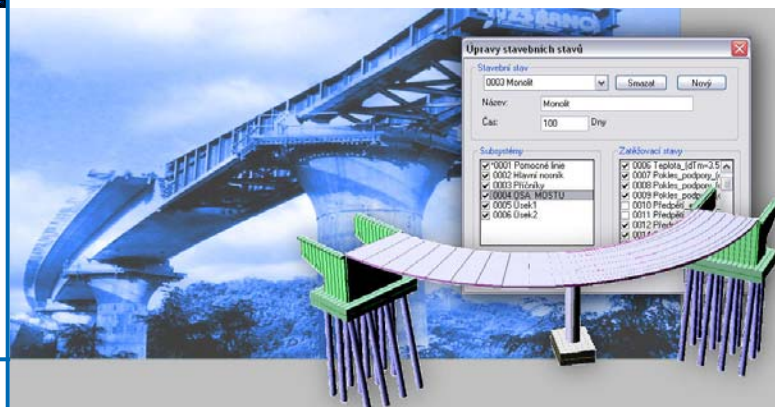


## Systém FEM pro monolitické mosty včetně TRIMAS® fem

PONTI®

Objednací číslo: 11.10.491

- rychlé zpracování mostních systémů na základě osových dat CAD
- usnadňující technika šablon pro průřezy, svrchní stavbu a předpínací kabely
- posudky volitelně dle ČSN EN, DIN EN, DIN Fachberichte, ÖNORM EN a BS EN
- výkonné výpočty a posuzování komplexních prostorových modelů



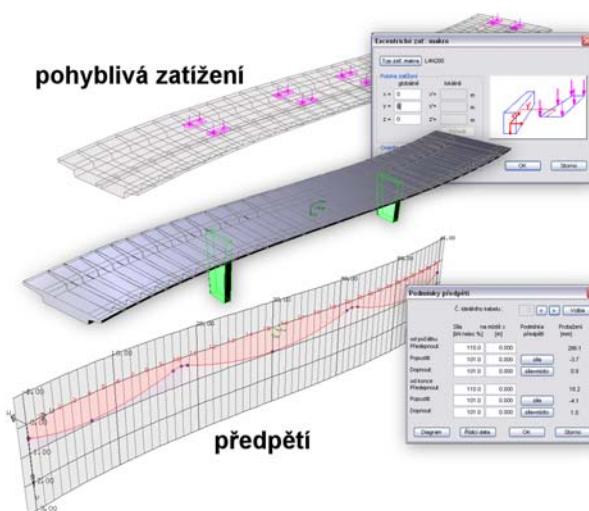
### Všestranné výpočetní modely mostů

Systém PONTI® umožňuje výpočet a posuzování libovolných silničních a železničních mostů, jakož i lávek pro pěší a cyklisty, které mohou být modelovány jako prostorové prutové nebo obecné skořepinové systémy. Lze modelovat mostní objekty s předpětím nebo bez a se zohledněním etapovitosti výstavby. Tímto způsobem lze zpracovávat celou řadu typů mostů:

- trémové a roštové mosty
- obloukové a rámové mosty
- zavěšené a visuté mosty
- kombinované, příhradové a deskové mosty
- komplexní modely včetně mostních opěr, pilířů, pylonů a pilot

Analýza metodou konečných prvků může být vedena lineárně nebo i geometricky nelineárně se zohledněním velkých deformací.

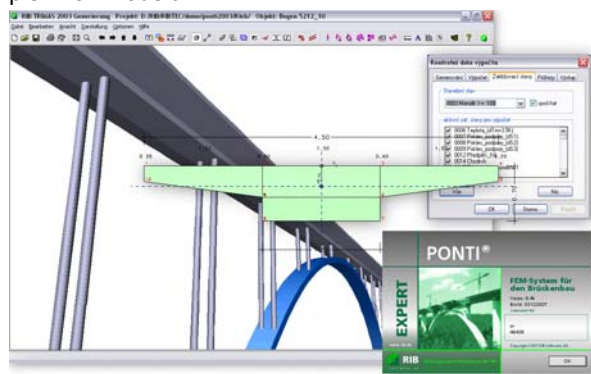
### pohyblivá zatížení



### předpětí

### Mostařský systém pro stavební praxi

PONTI® je modulární programový systém skládající se z jednotlivých komponent, jako např. QUER3 – TRIMAS® fem – HAUZU – NAZWEI atd., které prostřednictvím otevřených datových rozhraní vzájemně sdílí data projektu. Uživatelské prostředí podporuje optimálním způsobem veškeré zmíněné aplikace. Nutná data jednotlivých pracovních kordů, např. posudků, se generují automaticky což umožňuje rychlé a bezpečné zpracování i velmi komplexních modelů.



Zadání statického systému řešeného stavebního objektu je díky graficky interaktivnímu prostředí s tzv. hladinou modelu, tj. nezávisle na síti FEM, je poměrně snadné. Načtením osových dat DXF a/nebo vlastním konstruováním pomocí funkcí typu CAD lze rychle zadat i komplexní modely. Na generování bodů, křivek, jakož i nosníků, ploch, uložení, zatížení a předpětí jsou k dispozici výkonné funkce.

Další detailní informace ke grafickému generování a technologii FEM pro obecné prostorové prutové a plošné konstrukce jsou obsaženy v katalogovém listu TRIMAS® fem.

### Zohlednění etapovitosti výstavby

Systémem PONTI® lze zpracovávat monoliticky i etapovitě budované mostní objekty – nezávisle na konkrétním způsobu výstavby. Etapovité změny statického systému, jakož i okrajových podmínek, zatížení a předpětí lze velmi přehledně zohlednit technikou stavebních stavů. Změnami statického systému dochází v důsledku dotvarování a smršťování k redistribuci napětí, která je v programu PONTI® řešena dle EN schválenou Trostovou relaxační metodou. Tato metoda předpokládá v diskretních časech vzájemně nezávislé dotvarování podélného a příčného směru mostu.

## Optimální výměna dat

PONTI® umožňuje snadný import standardních externích dat typu DXF, resp. nabízí datová rozhraní ZEICON®, STRATIS® a rozhraní dat vytyčení bodů a os REB (DA 040 a DA 001).

## Stanovení vytyčovací souřadnic

Načtená data os a bodů lze použít pro další výpočet vytyčovací souřadnic nejrůznějších charakteristických bodů mostního objektu a jeho trasování. Na druhé straně mohou být ze situace převzata staničení osy s kilometráží a odpovídající prvky trasy jako jsou úsečka, kruhový oblouk a přechodnice.

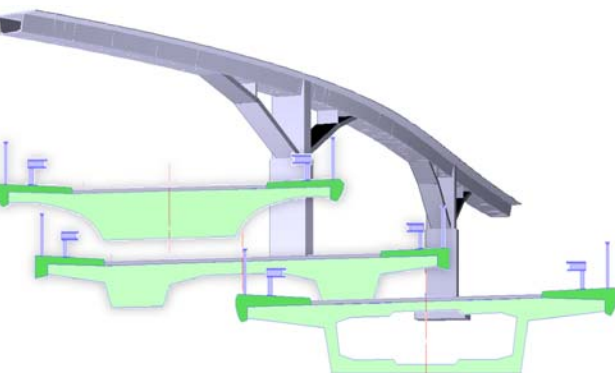
## Výkonná technologie FEM

Jako výpočetní jádro PONTI® se využívá plný funkční rozsah řešiče TRIMAS® fem. Na vyšetření posuvů a vnitřních účinků se v tomto řešiči využívají moderní a spolehlivé konečné prvky. Obsažená knihovna konečných prvků umožňuje řešení nejrůznějších inženýrských úloh staveb mostů:

- prostorové příhradové pruty (jen tah a tlak)
- prostorové nosíkové pruty (6 stupňů volnosti)
- prostorové skořepiny (6 stupňů volnosti)
- objemové prvky pro modelování podloží
- kontaktní prvky (pro interakci stavby s podložím)

V systému TRIMAS® fem lze vytvářet jak specifické mostní prutové modely, tak i kombinované plošné a prutové modely. Podrobný popis možností integrovaného systému FEM je obsažen v katalogovém listu TRIMAS® fem.

Konstruktionsgruppe Bauen, Kempten

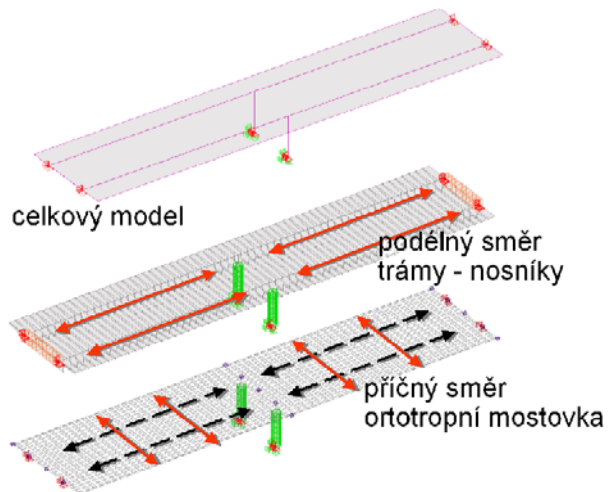


## Zadání mostních průřezů

Standardní mostní průřezy prutových prvků lze vybírat a upravovat jako makra z nabídky šablon. Výpočet obecných tlustostěnných průřezů včetně jednotkových smykových toků probíhá v komponentě PONTI® QUER3. Zpracovány mohou být jak otevřené tak i uzavřené průřezy. Průřezové charakteristiky lze počítat jak pro homogenní, tak i spřažené průřezy, jakož i celkové a spolupůsobící průřezy.

## Všestranné zadání zatížení

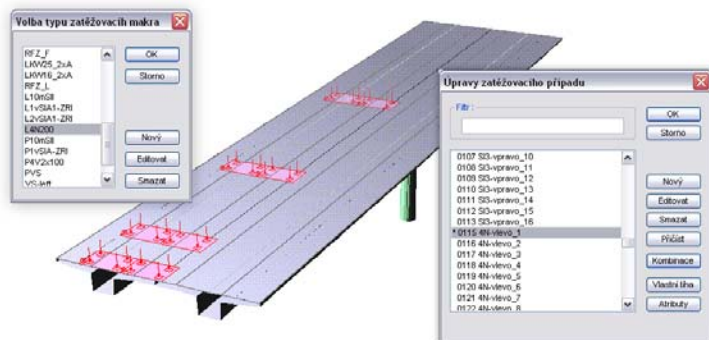
Je možné generování všech obvyklých typů zatížení jako např. osamělá břemena, lichoběžníková spojitá zatížení, nosíková a teplotní zatížení, zatížení D+S, vynucené posuvy, libovolná plošná zatížení a zatěžovací vlaky. Každému zatěžovacímu stavu lze přiřadit tzv. atribut, který zohledňuje nejen jeho druh, ale i účinek. Jsou k dispozici veškeré běžné atributy zatěžovacích stavů podle nastavené mostní normy. Systém rozlišuje až šest možných



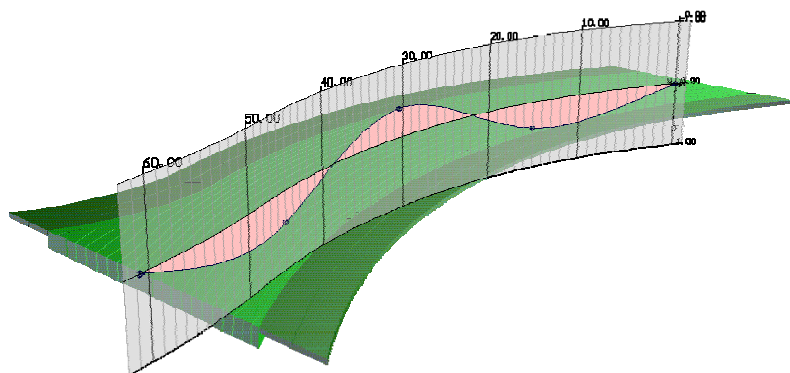
jízdních pruhů. Z přiřazení atributů zatěžovacím stavům automaticky vyplývají kombinační předpisy.

Zadání zatížení probíhá buď absolutně nebo relativně ve vztahu na počátek křivky resp. posloupnosti křivek. Definice posloupnosti křivek je přitom libovolná, tj. tyto mohou být tvořeny např. po jednotlivých polích nebo celých osách hlavních trámů.

Generování excentrických pojezdů zatěžovacími vlaky probíhá pomocí typizovaných nebo individuálně definova-



ných zatěžovacích maker automatizovaně. Zatěžovací makro odpovídající příslušnému vozidlu může být excentricky posouváno + kopírováno podél libovolného sledu křivek. Každá poloha zatížení může vytvářet vlastní zatěžovací stav. Tyto zatěžovací stavy se následně automaticky vylučujícím způsobem kombinují a jejich výsledná obálka extrémů může být použita jako vstup do posudků.







## Inteligentní kombinace

Prostřednictvím přiřazení atributů zatěžovacím stavům se v souladu se zvolenou mostní normou generují veškeré nutné kombinace. Všechny kombinační předpisy lze při tom dále dle potřeby upravovat. Šablony předpisů jsou sestaveny tak, že se pro kombinace posuvů, reakcí a zatížení automaticky zohledňují kombinační součinitele dle normy a účinku zatížení, jako např. stálá zatížení, užitná zatížení apod.

## Jednotná koncepce posudků (HAUZU a NAZWEI)

V systému PONTI® lze na mezním stavu únosnosti a mezním stavu použitelnosti vést veškeré posudky dle národních evropských mostařských norem (EN 1992-2), tj. ČSN EN, DIN EN, ÖNORM EN, BS EN a starší DIN Fachberichte pro předpjaté mostní objekty se soudržností nebo bez soudržnosti, bez předpětí, popř. i s předpětím externími kabely. Zohledňují se posudkové účinky pro stálou, dočasnou a mimořádnou posudkovou situaci, a dále i kombinace účinků stavů použitelnosti dle dané třídy požadavků (až 80 různých druhů účinků!). Posouzení dekomprese normálových napětí v betonu a další omezení napětí na neporušeném průřezu mohou být vedena se zohledněním postupným nebo dvoustupňovým průběhem normálových napětí v pásnicích, při až dvou intervalech dotvarování. Vedle dotvarování a smršťování průřezů a relaxace předpínací výztuže se zohledňuje i dotvarování celkové konstrukce Trostovou relaxační metodou.

vychází z nutné podélné výztuže stanovené v posudku únosnosti a v oblastech pravděpodobné tvorby trhliny zvyšuje nutnou výztuž v závislosti na stávajících napětích v oceli. Účinné předpínací kabely ležící v tažené zóně mohou být přitom započteny. Je-li to nutné je automaticky veden posudek stability trhlín bez nebo s přímým výpočtem šířky trhliny. Omezení napětí v betonu a v předpínací výztuži, jakož i betonu v I. a II. mezním stavu probíhá automaticky. Posudky únavy měkké a předpínací výztuže a dále tlačného betonu jsou vedeny se zohledněním nutné výztuže ve II. mezním stavu. Posudek posouvající síly a kroucení na mezním stavu únosnosti je veden rozšířeným příhradovým modelem se zohledněním tření v trhlínách.

Posudky na mezním stavu únosnosti:

- minimální výztuž
- ohybová smyková a torzní únosnost
- únavy měkké a předpínací výztuže a betonu namáhaného na tlak a smyk
- propíchnutí

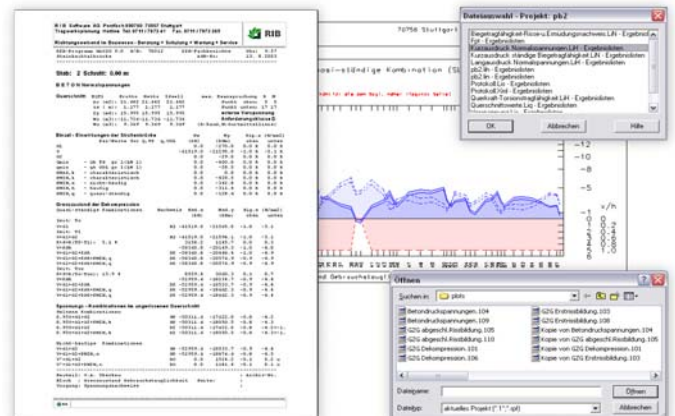
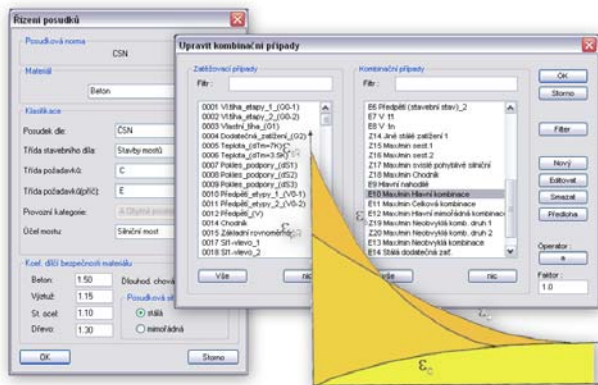
Posudky na mezním stavu použitelnosti:

- mezní stav dekomprese
- omezení napětí v I. a II. mezním stavu
- omezení tlakových napětí v betonu
- minimální výztuž na omezení šířky trhliny
- mezní stav stability trhlín
- omezení tvorby smykových trhlin
- lineární a nelineární dotvarování, smršťování, relaxace
- dotvarování konstrukce – stáří betonu zohledněno po etapách výstavby
- mezní stav deformací
- posudky pracovních spár

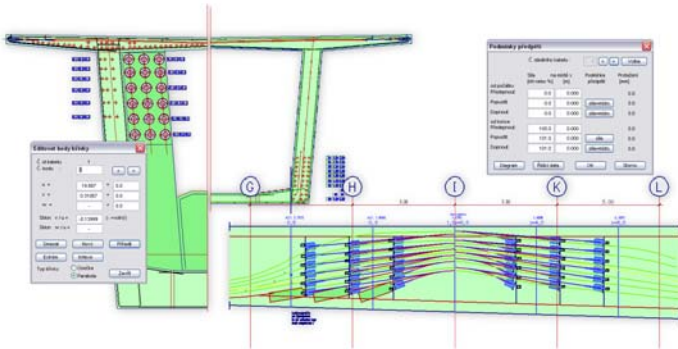
Posudky použitelnosti u plošných konstrukcí na vyžádání. Dále mohou být vedeny veškeré posudky pro mimořádnou posudkovou situaci. Pro účely kontroly je možné i přímé zadání předepsané podélné výztuže.

## Přehledný výstup výsledků

Veškerá zadání výpočetního modelu a data výsledků lze graficky zobrazovat a tisknout. Zobrazení výsledků je volitelné buď přímo na statickém systému nebo ve formě diagramu. Výstup dokumentů je možný i ve formátu MS Word. Přehledné výstupy jsou k dispozici v češtině, angličtině a němčině.



Posudek únosnosti pro ohyb s normálovou silou je veden se zohledněním minimální výztuže. Posudek může být uvažován pro šikmý ohyb s libovolnými pracovními diagramy napětí – přetvoření pro beton, měkkou a předpínací výztuž. Posudek šířky trhliny



### Všestranný předpínací modul

Prostorová geometrie předpínacích kabelů libovolné osy se generuje plně graficky interaktivně. Hlavní aplikační oblasti předpínacího modulu jsou předpjaté betonové mosty a stropní desky; může však být využíván i pro předpjaté nádrže a zásobníky.

### Snadné úpravy předpínacích kabelů

Geometrickému průběhu předpínacího kabelu odpovídá prostorový kubický spline. Poloha kabelu je půdorysně vztažena k libovolné ose. Výškově je poloha křivky vztažena buď k těžištové ose nebo k horní hraně vozovky tvořené z libovolných polygonálních průřezů.

V interní databance jsou uloženy veškeré běžné předpínací systémy se svými parametry nutnými pro stanovení účinků předpětí. Individuálním přiřazením předpínacích systémů jednotlivými předpínacími kabelům je možné v jednom zadání zohlednit rozdílné vlastnosti kabelů jako např. interní kabely s okamžitou nebo dodatečnou soudržností, bez soudržnosti, jakož i externí kabely a smíšené předpětí. Parametry obsažených předpínacích systémů lze dle potřeby individuálně upravovat. Každému předpínacímu kabelu se přiřazuje zatěžovací stav, který může být u výpočetních modelů pouze konečného stavu obecně rozdílný. U výpočetních modelů s etapovitou výstavbou se předpínacím kabelům přiřazují zatěžovací stavy odpovídající jejich časům aktivace, resp. demontáže.

### Rychlé zadání geometrie kabelu

Charakteristické body křivky kabelu se popisují ve dvou konstrukčních rovinách – v půdoryse a v náryse. Tyto konstrukční roviny odpovídají rozvinutému tvaru obecně zakřivených vztažných os. Kontrolní body křivky v náryse a půdoryse jsou vzájemně nezávislé. Výsledná prostorová křivka kabelu – kubický spline – vzniká složením zadání z obou rovin. Křivky kabelů mohou být v nárysné rovině generovány různým způsobem:

- automatická standardní křivka s horní a dolní polohou krytí a polohou inflexního bodu od podpor
- dialogové zadání souřadnic bodů křivky vztažené na počátek příslušné osy
- odkazem na geometrii/výšek již existujícího referenčního kabelu
- posuvem překlopením o 180 stupňů a kopírováním po úsecích
- rovnoměrným rozložením kabelů v definované oblasti půdorysu (u plošných systémů)

Praktickou pomocí je i automatická kontrola dodržení přípustných poloměrů křivosti.

### Všestranné podmínky předpětí

Principiálně se na každém konci kabelu rozlišují čtyři podmínky předpětí: předepnout, popustit, dopnout, zakotvit s pokluzem. Podmínky předpětí se definují přímým zadáním předpínací síly nebo procentuální hodnotou k maximálně přípustné předpínací síle. Každé předpínání lze graficky zobrazit formou diagramu průběhu předpínací síly se zohledněním okamžitých ztrát a pokluzu. Dále lze předepsat 3 předpínací podmínky:

- předpis dané síly na daném místě
- podržení dosavadní síly na daném místě
- zachování dané síly

### Přímé generování postupu předpínání

Z podmínek předpětí a časů injektáže kanálku se stanovují přesné délky předpínacích kabelů v závislosti na pořadí jejich předpínání.

### Automatické generování zatížení od předpětí

Pro účely stanovení vnitřních účinků předpětí se metodou ekvivalentních zatížení stanovují kotevní a radiální síly na statický systém. U prutových systémů se kotevní a radiální síly stanovují jako  $n$  náhradních zatížení v  $n$  kontrolních intervalech prutu. Tato zatížení jsou v rovnováze se staticky určitým podílem předpětí včetně tření. Místa nespojitosť nebo zlomů se přitom zohledňují detailnějším vyšetřením. Kotevní a radiální síly se u plošných konstrukcí zohledňují směrem hlavních normál prostorové křivky.

### Přesné stanovení vnitřních účinků

Zatížením výpočetního modelu FEM náhradními ekvivalentními vnějšími zatíženími se stanovují celkové vnitřní účinky z předpětí, které se u prutových systémů dále rozpadají na staticky určitý a staticky neurčitý podíl. U předpjatých plošných systémů mohou být z důvodu vnitřní neurčitosti stanoveny pouze celkové vnitřní účinky.

### Effektivní přenos dat

Všechna zadání a výstupy se v první řadě zobrazují graficky. K těmto výstupům patří i výkresy mřížky s excentrickou polohou kabelů v kanálcích a všech předpínacích kabelů v betonovém průřezu. Výkresy mřížky lze exportovat i ve formátu DXF. Pro jednotlivé předpínací kabely mohou být generovány diagramy průběhu předpínací síly. Dále jsou k dispozici podrobné protokoly předpětí s detailními informacemi o geometrickém uspořádání, odhady množství předpínací výtuzě apod.

