



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Globálna analýza mostov

Mosty s ortotropnými mostovkami

NÁZOV PROJEKTU:

**Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov
v oblasti mostného staveľstva v cezhraničnom regióne**

**VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA**

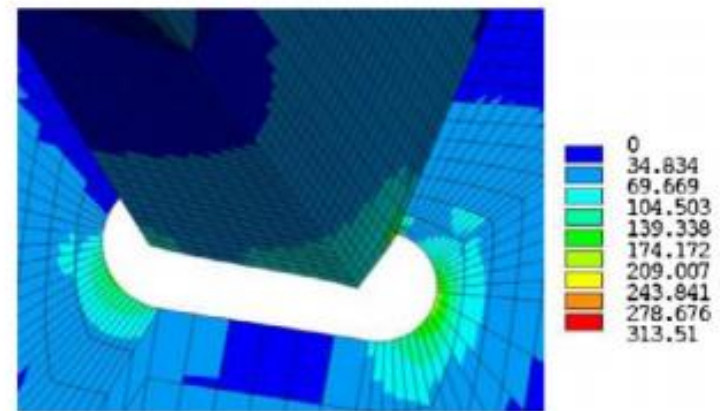
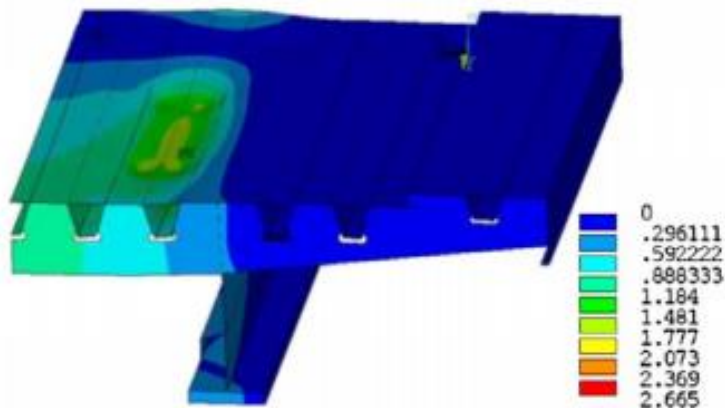


EDUMOS

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Spôsoby analýzy mostov s ortotropnými mostovkami

- mosty s plechovými ortotropnými mostovkami predstavujú zložitý dosko-stenový systém s výrazne nelineárnym správaním
- zjednodušená analýza - celkové pôsobenie dosko-stenovej konštrukcie sa rozkladá na pôsobenie jej jednotlivých systémov
- presnejšie analýzy – numerika



Spôsoby analýzy mostov s ortotropnými mostovkami

Pôsobenie systému

I. pôsobenie plechu medzi výstuhami

- odolnosť na ohyb, šmyk a lokálny tlak
- prídavný ohyb vplyvom nerovnakého priehybu výstuh

II. pôsobenie ortotropnej dosky

- Ila. - vydúvanie samotného plechu medzi pozdĺžnymi výstuhami (pri tlaku)
 - ochabnutie normálových napätí v plechu medzi pozdĺžnymi výstuhami vplyvom šmyku
- Ilb. - vydúvanie plechu medzi priečnymi výstuhami (pri tlaku), ktoré je ovplyvnené pozdĺžnymi výstuhami kolmo na smer namáhania
 - ochab. norm. napätí v plechu medzi priečnymi výstuhami vplyvom šmyku

III. pôsobenie v hlavnom nosnom systéme

- spolupôsobenie s hlavnými nosníkmi – prídavné vnútorné sily, najmä N a M
- namáhanie mostovky plynúce z funkcie stužujúceho systému
- vydúvanie plechu vystuženého pozdĺžnymi výstuhami (mostovky) medzi hlavnými nosníkmi (pri tlakových napätiach)
- ochabnutie pozdĺžnych normálových napätí v plechu vystuženého pozdĺžnymi výstuhami (v mostovke) medzi hlavnými nosníkmi vplyvom šmyku

Spôsobý analýzy mostov s ortotropnými mostovkami

Zjednodušená analýza systému

I. analýza plechu medzi výstuhami

- dodržanie konštrukčných zásad pre hrúbku plechu a rozmery a vzdialenosti výstuh
- požiadavky na tuhosť výstuh (pozdĺžnych) v ohybe i v krútení

II. analýza samotnej ortotropnej dosky

- niektorou z analýz ortotropnej dosky

III. zjednodušená analýza hlavného systému

- zavedenie spolupôsobiacej časti mostovky

účinky analýz I. + II. + III. sa musia sčítať

- problémy
 - **výrazné** zjednodušenie pôsobenia
 - rozdielne polohy zaťaženia
 - separácia efektov vydúvania
 - neefektívne v dnešnej MKP dobe

Aktuálna analýza systému s využitím 3D MKP

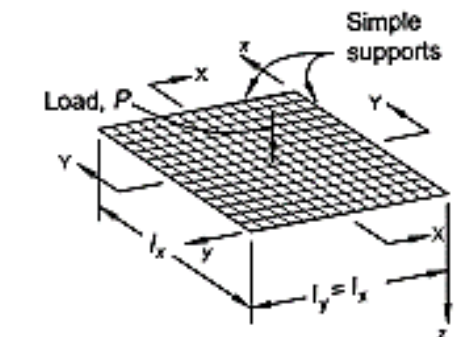
I. analýza plechu medzi výstuhami

- najčastejšie na submodeloch
- ak sú dodržané konštrukčné zásady pre hrúbku plechu, ako aj rozmery a vzdialenosti výstuh, zvyčajne sa nerealizuje

II.+III. globálna analýza celého hlavného systému s mostovkou

- je aj v dnešnej dobe trochu náročnejšie
- najmä pri analýze mostov s hornými mostovkami (alebo pri spojitých mostoch), kde je (môže byť) ortotropná mostovka ako súčasť hlavného nosného systému tlačená
- v prípade mostov s ortotropnými mostovkami nachádzajúcimi sa v ťahanej zóne hlavného nosného systému (jednoducho uložené mosty s dolnými mostovkami) je úloha podstatne jednoduchšia, nakoľko sa tu prejavuje len vplyv šmykového ochabnutia, ktorý sú schopné priestorové modely ako lineárny jav zohľadniť

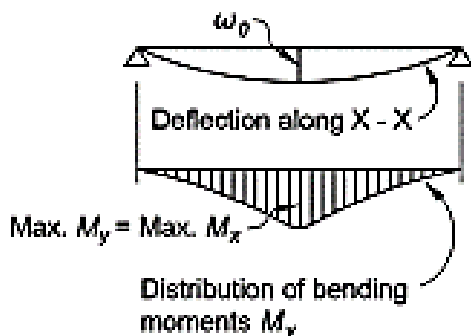
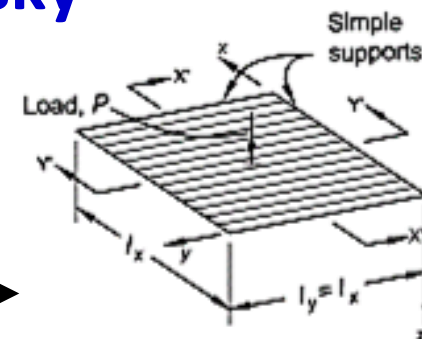
Analýza ortotropnej dosky



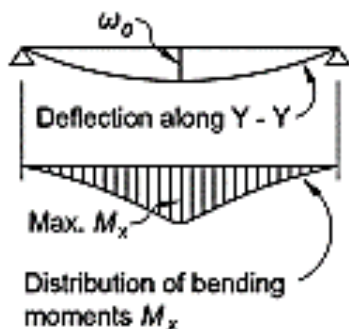
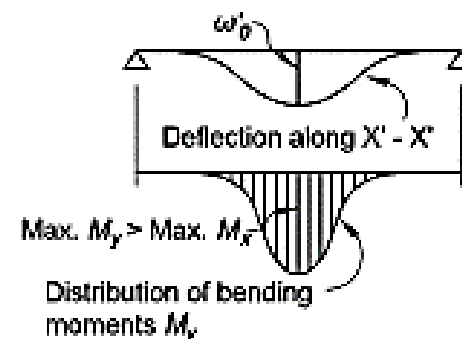
Izotropná doska



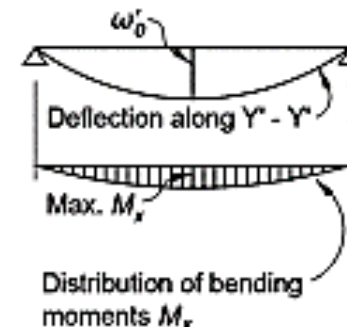
Ortotropná doska



Priehyb a moment
v reze X-X



Priehyb a moment
v reze Y-Y



Analýza ortotropnej dosky

Analytický

Rovnica
ortotrogonálne anizotropnej dosky

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y)$$

Dosková tuhosť v smere x $D_x = \frac{E_x t_{\text{top}}^3}{12(1-\nu_x \nu_y)}$

Dosková tuhosť v smere y $D_y = \frac{E_y t_{\text{top}}^3}{12(1-\nu_x \nu_y)}$

Efektívna tuhosť v krútení $2H = D_x \nu_y + D_y \nu_x + 4D_{xy}$

vzájomné vzťahy $H = \sqrt{D_x D_y}$ $D_{xy} = \frac{G_{xy} t_{\text{top}}^3}{12}$

Pri riešení využijeme Bettiho vetu $D_x \cdot \nu_y = D_y \cdot \nu_x$ $G_{xy} = \frac{\sqrt{E_x E_y}}{2(1+\nu_{xy})}$

$D_x \cdot \nu_z = D_z \cdot \nu_x$

ako aj vzťahy

$\nu_{xy} = \sqrt{\nu_x \nu_y}$ $\nu_{xz} = \sqrt{\nu_x \nu_z}$ $\nu_{yz} = \sqrt{\nu_y \nu_z}$

Analýza ortotropnej dosky

Analytický

úprava pre dosku vystuženú pozdĺžnymi výstuhami a priečnymi výstuhami

pričom $E_x = E_y = E$

rovnica ostáva

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y)$$

kde tuhosti

$$D_x = EI_{sl,1} / b \quad D_y = EI_{cb} / a \quad H = \kappa \sqrt{D_x D_y}$$

D_x predstavuje ohybovú tuhosť dosky v smere pozdĺžnych výstuh,

D_y predstavuje ohybovú tuhosť dosky v smere priečných výstuh,

H predstavuje torznú tuhosť dosky,

$p(x,y)$ je priečne zaťaženie dosky,

$I_{sl,1}$ je kvadratický moment plochy pozdĺžnej výstuhy vrátane prilahlých častí plechu mostovky,

I_{cb} je kvadratický moment plochy priečnej výstuhy vrátane prilahlých častí plechu mostovky,

a je osová vzdialenosť priečných výstuh,

b je vzdialenosť pozdĺžnych výstuh,

κ je konštanta uvažovaná hodnotami $\kappa = 0,3$ pre otvorené pozdĺžne výstuhy, resp. $\kappa = 0,5$ pre trapézové pozdĺžne výstuhy.

Analýza ortotropnej dosky

Riešenie diferenciálnej rovnice

- rozvojom do Fourierových radov
- diferenčná metóda
- metódou sietí
- metódou lomeníc
- MKP
- ...

- k analytickým prístupom sa zaraďuje v minulosti aplikovaná metóda Cornelius - Hawranek - Steinhardt - Homberg - transformácia ortotropnej dosky na izotropné kontinuum, na ktorom sa riešia príslušné vnútorné sily, ktoré sa potom spätne transformujú na vnútorné sily ortotropného kontinua (spracované tabuľky vplyvových čiar)

Analýza ortotropnej dosky

Inžinierske metódy pre mosty PK

- V súčasnosti, ak sa aplikujú, tak takmer výhradne iba pre predbežný návrh mostovky

Model roštu

- priečniky roštu - pozdĺžne výstuhy so spolupôsobiacou šírkou priľahlých častí dosky
- hlavné nosníky roštu - priečne výstuhy so spolupôsobiacou šírkou priľahlých častí dosky
- spolupôsobiace časti plechu dosky s pozdĺžnou aj priečnou výstuhou sa určujú s ohľadom na ochabnutie normálových napätí vplyvom šmyku

Analýza ortotropnej dosky

Inžinierske metódy pre mosty PK

metóda Pelikan - Esslinger

- v reálnych mostovkách je D_x je 500 až 2 000 krát väčšia ako tuhosť D_y
- zanedbanie posledného člena rovnice (4.119) zanedbať
- ak sa použijú otvorené prierezy pozdĺžnych výstuh - je možné v rovnici zanedbať aj vplyv druhého člena v dôsledku malej torznej tuhosti výstuh
- diferenciálna rovnica ortotropnej dosky sa zjednoduší potom na diferenciálnu rovnicu ohybu prúta.
- v prípade výstuh uzavretého prierezu, kedy nie je možné zanedbať stredný člen rovnice, je modelom dosky sústava spojitých prútov uložených na pružných podporách napínaných osovou silou $2H$.
- výpočet vnútorných síl - v dvoch etapách
- pre prípadné bližšie informácie - pozri učebnicu

Globálna analýza hlavného nosného systému

Zjednodušená analýza hlavného nosného systému

- v závislosti od typu statického systému NK a polohy mostovky
- pri jednoducho podpretej NK – klasicky, model prostého nosníka
- pri spojitých trámoch - model spojitého prúta na pevných podporách, avšak je potrebné zohľadniť prerozdelenie tuhostí NK v dôsledku:
 - šmykového ochabnutia
 - vydúvania ortotropnej mostovky
 - vydúvania stien hlavných nosníkov
- zohľadniť priečny roznos cez mostovku
- dbať na zohľadnenie excentricít zaťaženia (priťaženie/odľahčenie)
- pri komorových mostoch sa vplyv excentricity zohľadňuje krútiacim momentom, ktorého produktom je šmykové napätie
- dynamické účinky zvislého zaťaženia - dynamickými súčiniteľmi

Globálna analýza hlavného nosného systému

Analýza v MKP s využitím 3D modelov

- kreovanie priestorových modelov opisovaných konštrukcií sa realizuje v závislosti od možností softvéru a metódy ich analýzy
- s typom modelu súvisí aj príslušná hodnota dynamického súčiniteľa - rovnaký problém opísaný pri modeloch plnostenných mostov

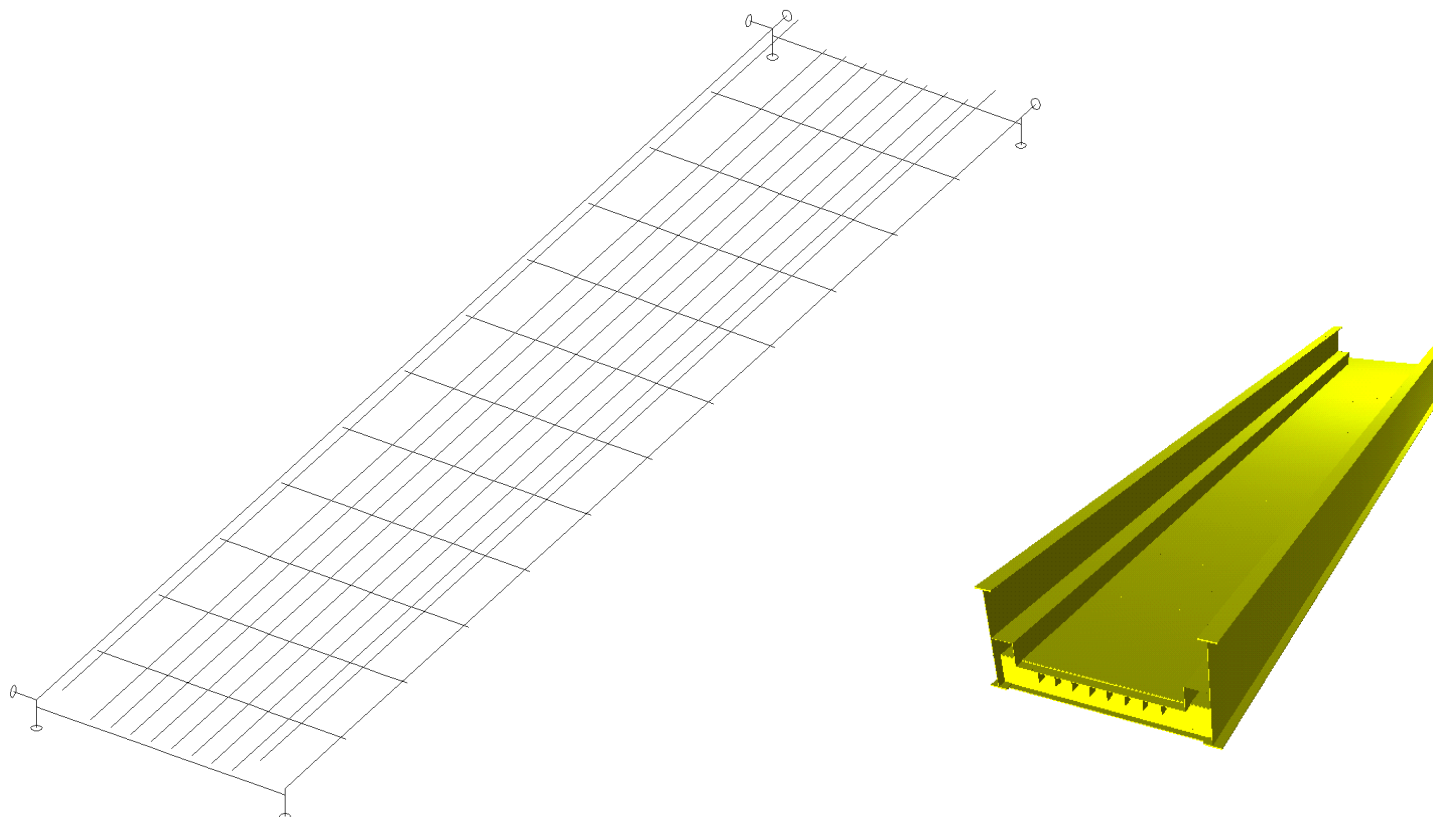
Prútové modely mosta s ortotropnou doskou

- najmä v minulosti, ale i dnes pri niektorých softvérových produktoch
- prútimi sa aproximujú nielen hlavné nosníky, ale aj ortotropná mostovka, ktorá sa nahrádza roštom modelovaným excentricky voči polohe ťažiska hlavných nosníkov podľa jej skutočnej polohy v priečnom reze NK
- príslušné prúty modelu roštovej náhrady predstavujú vlastné výstupy, vrátane zodpovedajúcej spolupôsobiacej šírky plechu mostovky, ktorá sa stanoví v závislosti od spôsobu namáhania mostovky - teda či sa uvažuje lokálne namáhanie mostovky z hľadiska jej funkcie prenosu zaťaženia do hlavných nosníkov, alebo funkcia mostovky ako súčasti hlavného nosného systému

Globálna analýza hlavného nosného systému

Analýza v MKP s využitím 3D modelov

Prúťové modely mosta s ortotropnou doskou



Globálna analýza hlavného nosného systému

Analýza v MKP s využitím 3D modelov

Využitie plošných (škrupinových) konečných prvkov

• 2D prvky pre plech mostovky

- výstuhy dosky sa modelujú ako prúty s excentricitami – „rebrá“
- hlavný nosník prúťovou náhradou
 - najmä pre priehradové trámy
 - aj pre plnostenný nosník
- v závislosti od koncepcie je hlavný nosník v modeli
 - spojený diskkrétne s mostovkou cez priečne výstuhy (príp. priečniky)
 - spojený kontinuálne s plechom mostovky

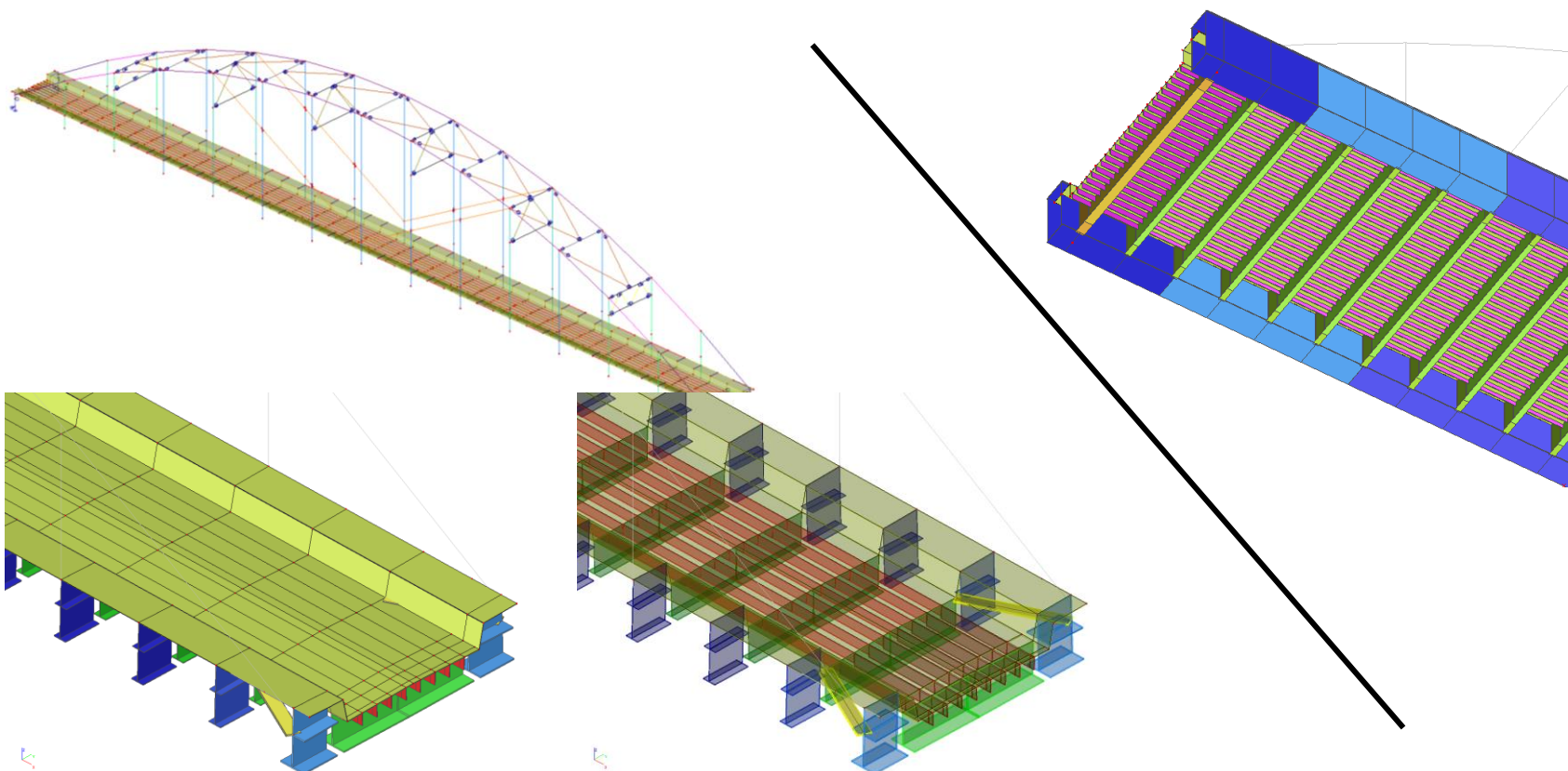
• 2D prvky pre plech mostovky a hlavný nosník

- výstuhy dosky sa modelujú ako prúty s excentricitami – „rebrá“
- hlavný nosník – plošné prvky
 - celý prierez – komorové trámy, ale aj plnostenné nosníky
 - iba stena nosníka, pásnice prúťmi – pre plnostenné I-nosník

Globálna analýza hlavného nosného systému

Analýza v MKP s využitím 3D modelov

Využitie plošných (škrupinových) konečných prvkov



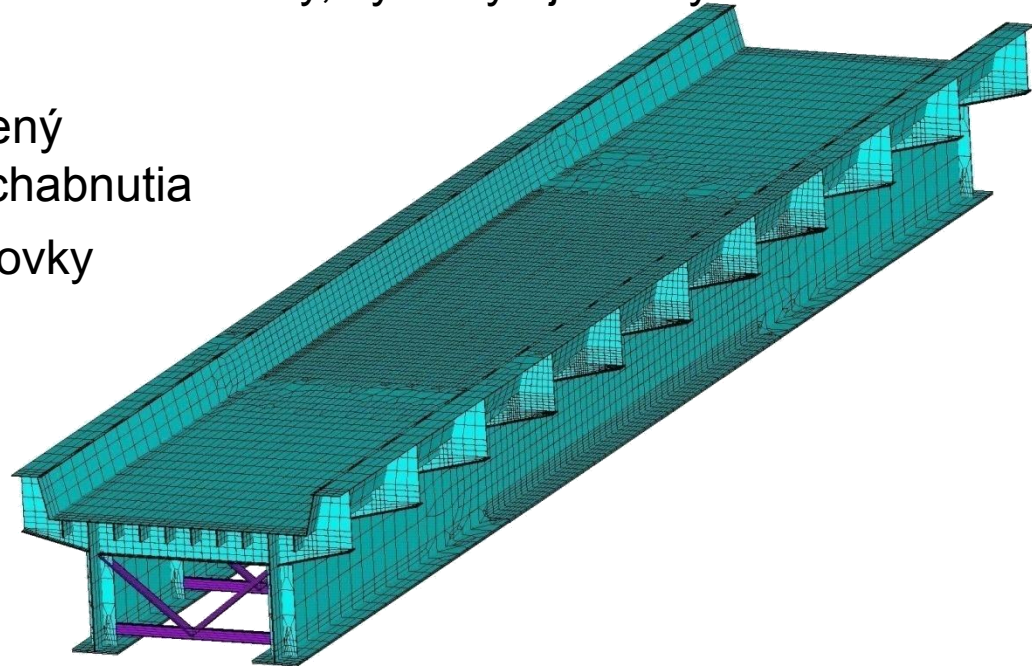
Globálna analýza hlavného nosného systému

Analýza v MKP s využitím 3D modelov

Využitie plošných (škrupinových) konečných prvkov

2D prvky pre celý nosný systém

- plošnými prvkami - plech mostovky, výstuhy aj hlavný nosník
- náročný model
- kompletne zohľadnený vplyv šmykového ochabnutia
- najmä tlačené mostovky



Globálna analýza hlavného nosného systému

Analýza v MKP s využitím 3D modelov

Lineárne vs. nelineárne analýzy

- LA - zohľadnený vplyv **šmykového ochabnutia** v širokých obývaných pásoch
- vplyv **vydúvania** stien a tlačných pásov je však potrebné v globálnej analýze (pri výpočte vnútorných síl, napätí a deformácií) zohľadniť :
 - zanedbať tento efekt - ak redukciu plochy prieč. rezu neprekračuje 50%
 - nepriamo (redukciami hrúbok, tuhostí a pod.)
 - geometricky nelineárnou pružnostnou analýzou s imperfekciami – GNIA
- GNIA
 - zvolený tvar geometrickej imperfekcie by mal zodpovedať tvaru vydutia dosko-stenovej konštrukcie pri strate stability
 - v čase návrhu konštrukcie - všetky typy imperfekcií (eometrické, štrukturálne, konštrukčné) sa vo výpočtovom modeli nahradia ekvivalentnými geometrickými imperfekciami (príl. C v STN EN 1993-1-5).

Globálna analýza hlavného nosného systému

Analýza v MKP s využitím 3D modelov

Nelineárne analýzy

