

ZÁKLADNÍ PRINCIPY NAVRHOVÁNÍ ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ A JEJICH KRITICKÝCH OBLASTÍ



Projekt: Vyztužování poruchových oblastí železobetonové konstrukce
Dílčí část: Úvod do problematiky řešení poruchových oblastí
Vypracoval: Ing. Martin Típka, Ph.D. a kolektiv
ČVUT v Praze, Fakulta stavební
Katedra betonových a zděných konstrukcí
Thákurova 7, Praha 6 - Dejvice
Podpora: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky
Karmelitská 529/5, 118 12 Praha 1
Datum: 2017



Obsah

Obsah	- 1 -
1 Úvod	- 2 -
2 Globální analýza, B-oblasti	- 3 -
3 Lokální analýza, D-oblasti	- 5 -
3.1 Empirické vzorce, normová doporučení, schémata vyztužení	- 5 -
3.2 Metoda příhradové analogie.....	- 5 -
3.2.1 Tlačené pruty - vzpěry	- 6 -
3.2.2 Tažené pruty - táhla	- 7 -
3.2.3 Uzly (styčníky)	- 7 -
3.2.4 Postup výpočtu.....	- 8 -
3.3 Nelineární numerické metody	- 9 -
4 Seznam literatury	- 11 -
4.1 Použitá literatura.....	- 11 -
4.2 Doporučená literatura.....	- 11 -



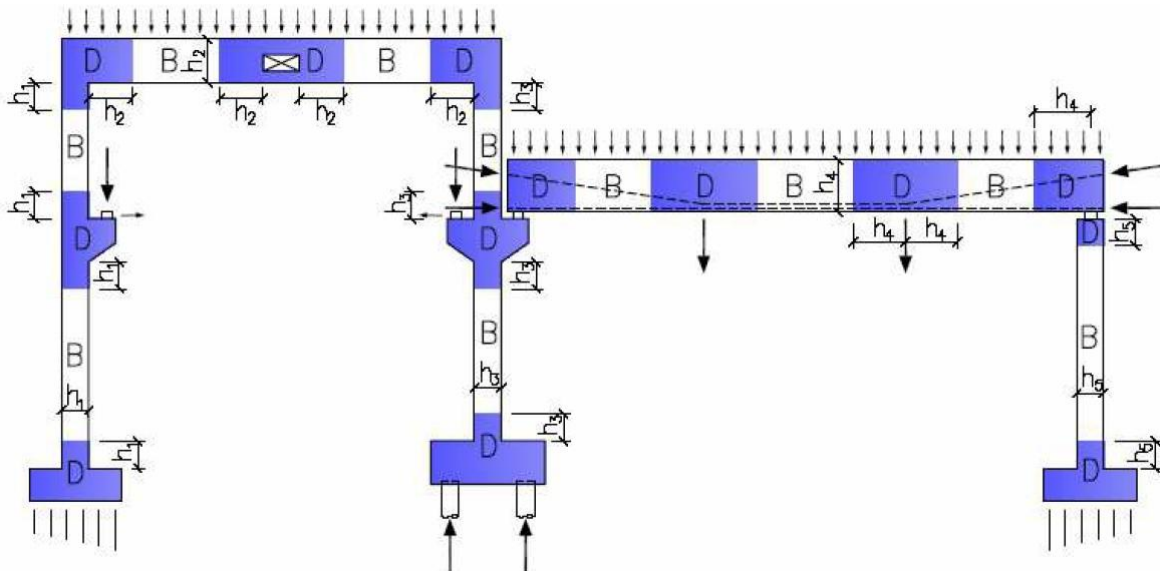
1 Úvod

Běžné železobetonové konstrukce a její části je možné vyšetřovat pomocí **globální analýzy**. Konstrukce nebo její části jsou idealizovány jako celek jednoduchým výpočetním modelem, pomocí kterého je následně možné stanovit odezvu konstrukce při zatížení. Globální analýza se používá zejména pro stanovení rozměrů prvků, návrh základní výztuže a ověření celkové tuhosti a prostorové stability konstrukce [1].

V určitých částech konstrukce, kde globální výpočet není zcela výstižný, je potřeba analýzu doplnit **lokálním výpočtem**. Použití konvenčních metod návrhu by vedlo k častějšímu výskytu závad a poruch ŽB konstrukcí.

Při navrhování je tak vhodné u konstrukce rozlišovat 2 typy oblastí:

- B-oblasti:** oblasti s běžným chováním, ve kterých je možné použít standardní postupy pro dimenzování - **globální analýza**
- D-oblasti:** poruchové oblasti (oblasti diskontinuit), ve kterých je porušen ustálený tok vnitřních sil a dochází ke statické nebo geometrické nespojitosti. Pro jejich návrh je nutné užít speciální návrhové postupy - **lokální analýza**



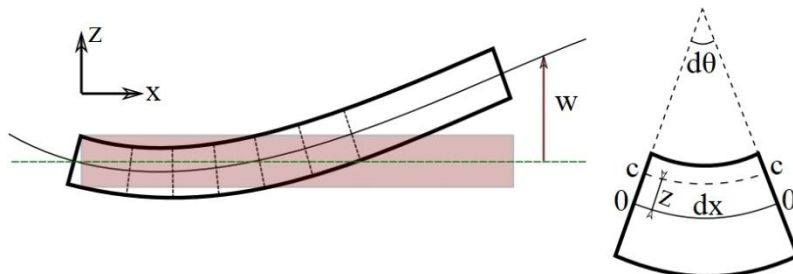
Obr. 1 Rozdělení konstrukce na oblasti B a D [3]

D-oblasti představují především konstrukční detaily v oblastech nepravidelností geometrie nebo zatížení, a též v oblastech se specifickými okrajovými podmínkami:

- ozub
- krátká konzola
- rámový roh, rámové styčníky
- otvor v nosníku, soustava otvorů
- náhlá změna průřezu
- oblasti v blízkosti podpor
- lokální působení osamělého břemene
- kotevní oblast předpínací výztuže
- stěnový nosník
- nepřímé uložení
- oblast protlačení deskových konstrukcí

2 Globální analýza, B-oblasti

Základním předpokladem používaným při globální analýze konstrukce je platnost **Bernoulli-Navierovy hypotézy**, tj. předpokladu lineárního přetvoření průřezu - průřez po deformaci konstrukce zůstává rovinný a kolmý na střednici.



Obr. 2 Bernoulli-Navierova hypotéza

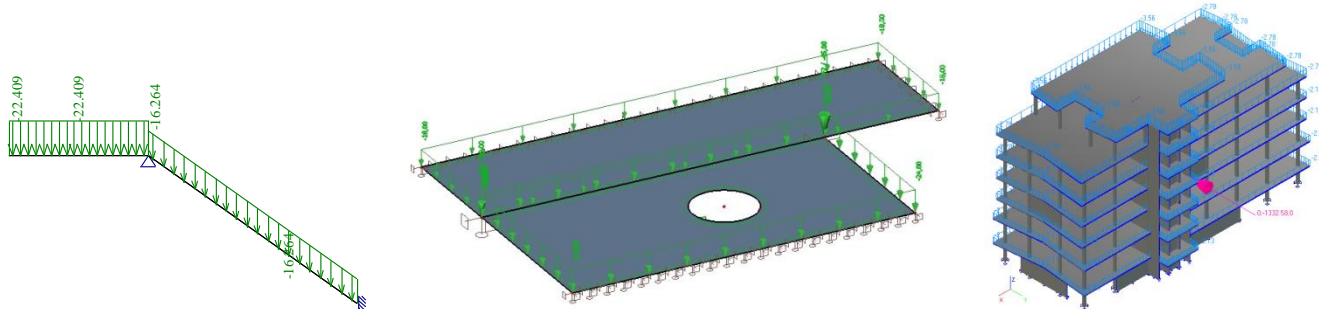
Podle složitosti a nepravidelností konstrukce je zvolena její vhodná idealizace a členění na konstrukční celky:

- dílčí konstrukční prvky
- rovinný výsek konstrukce - např. pruh desky, stěny
- patrový výsek - např. stropní deska a navazující svislé nosné konstrukce přilehlých podlaží
- celý objekt jako celek - případ složitých nepravidelných konstrukcí

Každému řešenému konstrukčnímu celku je přiřazen optimální výpočetní model a jeho rozsah:

- 1D model - nosník, sloup, jednosměrně pnutá deska
- 2D model: a) prutový - rovinný rám, příhradový nosník
b) deskostěnový - stropní desky namáhané ve více směrech, základové desky, stěny
- 3D model: a) prutový - prostorový rám, prostorová příhradová konstrukce
b) obecná konstrukce - kombinace prutových a deskových prvků

Pro zvolený model jsou stanoveny okrajové podmínky a pomocí základních principů stavební mechaniky vyčísleny vnitřní síly.



Obr. 3 Varianty výpočetních modelů

Výpočet účinků zatížení závisí na zvolené výpočetní metodě s předpokladem idealizace chování [6]:

- **lineárně pružná analýza**
 - pružná odezva konstrukce na zatížení
 - průřezy bez trhlin
 - lineární pracovní diagramy použitých materiálů (beton, ocel)
 - moduly pružnosti materiálů mají průměrné hodnoty
- **lineárně pružná analýza s omezenou redistribucí**
 - možná pro staticky neurčité prutové konstrukce zajištěné proti vodorovným posunům a nosníkové desky
 - umožňuje redistribuci vnitřních sil za předpokladu zachování rovnováhy mezi redistribuovanými momenty a působícím zatížením (na konstrukčních prvcích i ve styčnicích) a splnění podmínky možného přetvoření plastických oblastí
 - předpoklad vzniku trhlin a natáčení konstrukce v místě plastických kloubů
- **plastická analýza**
 - výpočet založen na vyšetřování nejnepříznivějšího plastického mechanismu a ověření možnosti plastického přetvoření kritických oblastí (rotační kapacita)
 - přihlíží k nerovnoměrnému rozložení výztuže
 - zanedbává účinek předchozího zatěžování a předpokládá plynulý nárůst zatížení
- **nelineární analýza**
 - nelineární závislost mezi účinky zatížení a křivostí průřezů
 - zohledněn vliv II. řádu - rovnováha vnitřních sil uvažována na přetvořené konstrukci
 - nelineární pracovní diagramy materiálů
 - zahrnut vliv trhlin i dlouhodobých účinků zatížení
 - u staticky zatížených konstrukcí možno zanedbávat účinky předchozího zatížení

Lineárně pružnou analýzu a nelineární analýzu lze použít pro vyšetřování mezních stavů únosnosti i mezních stavů použitelnosti. Pro lineárně pružnou analýzu musí být v mezních stavech použitelnosti (MSP) uvažován postupný vývoj trhlin. Lineárně pružnou analýzu s omezenou redistribucí a plastickou analýzu lze užít pouze pro vyšetřování mezních stavů únosnosti [6].

Návrh a posouzení jsou následně při globální analýze prováděny v kritických průřezech konstrukce.

- ohyb: $M_{Rd} \geq M_{Ed}$ (1)

- smyk: $V_{Rd,max} \geq V_{Ed,max}$ (2)

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \quad (3)$$

- normálová síla: $N_{Rd} \geq N_{Ed,max}$ (4)

- smyk + kroucení: $\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1,0$ (5)

- ohyb + normálová síla: \Leftrightarrow interakční diagram

Při globální analýze je posuzování účinků jednotlivých vnitřních sil prováděno většinou odděleně, ve vytipovaných kritických průřezech. Celková bezpečnost konstrukce je zajištěna prostřednictvím obecných pravidel a konstrukčních opatření. Návrhové postupy globální analýzy pro jednotlivé typy namáhání jsou podrobně popsány v současných normách.



3 Lokální analýza, D-oblasti

D-oblasti (poruchové oblasti) představují místa konstrukce, ve kterých není dodržen předpoklad lineárního rozložení přetvoření po průřezu. Dimenzování takových oblastí na základě obecných normových pravidel a doporučení, bez podrobné analýzy může vést na jedné straně k příliš konzervativním návrhům, na straně druhé k podhodnocení kritických oblastí a poruchám konstrukce. Proto je nutné globální návrh konstrukce doplnit **lokálním výpočtem**.

Pro řešení D-oblastí lze použít následující metody:

- empirické vzorce, normová doporučení, schémata vyztužení
- metoda příhradové analogie = Strut and Tie Method
- numerické metody založené na nelineární analýze - obvykle nelineární MKP

3.1 Empirické vzorce, normová doporučení, schémata vyztužení

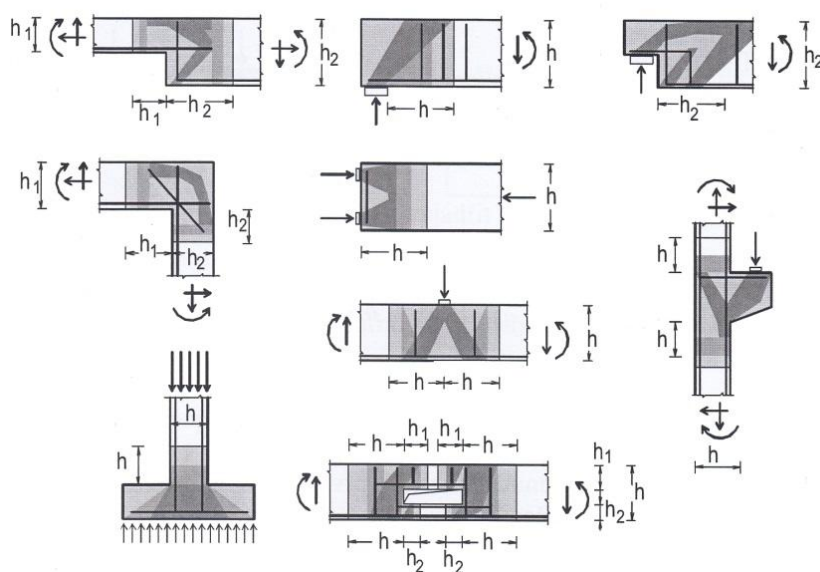
Použití empirických vzorců a normových doporučení představuje pro projektanta nejjednodušší a nejrychlejší způsob řešení konstrukčních detailů. Bývá však omezeno na malou skupinu oblastí typických tvarů s konkrétním způsobem zatížení. Využívá se většinou pro opakované řešení detailů obdobných tvarů, u kterých již byla spolehlivost prokázána dříve. Výpočetní postup bývá doplněn schématy vyztužení typického detailu.

Pro řešení oblastí atypického až obecného tvaru není tento způsob řešení vhodný.

3.2 Metoda příhradové analogie

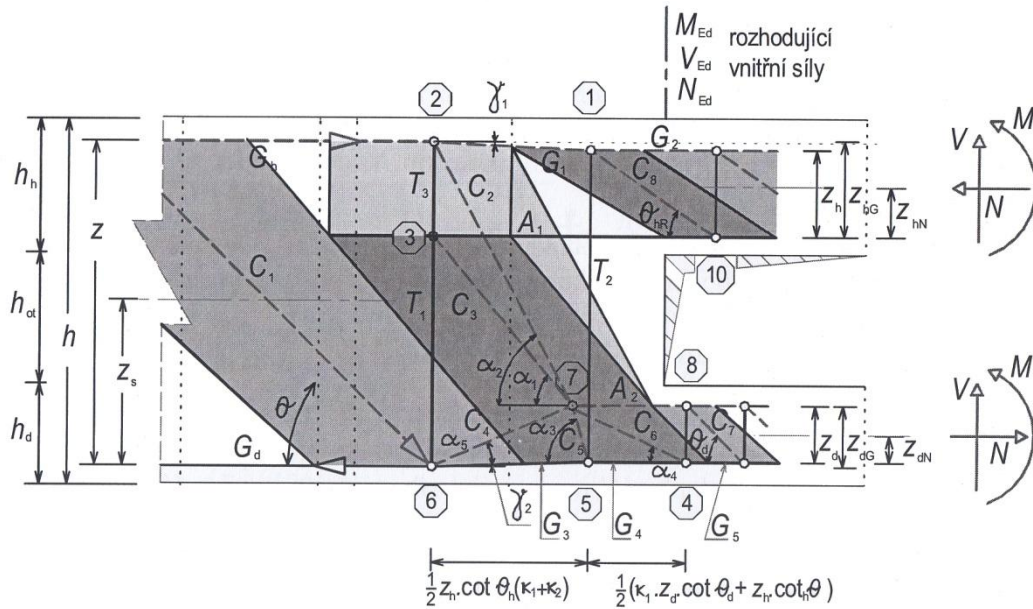
Metoda příhradové analogie využívá modely náhradní příhradoviny. Ty mohou být použity při návrhu v MSÚ v oblastech nespojitosti (nosníky a desky porušené trhlinami) a v oblastech, kde není zachována linearita přetvoření průřezu nebo při ověřování v MSP (např. ověření napětí v oceli, kontrola šířky trhlin).

Princip metody spočívá v nahrazení části konstrukce příhradovým modelem, složeným ze systému vzpěr, táhel a uzlů - podrobněji viz níže. Obvykle tyto oblasti mají délku rovnou výšce průřezu prvku h - viz Obr. 4.



Obr. 4 Velikosti D-oblastí [2]

Základním předpokladem lokálního modelu náhradní příhradoviny je jeho kompatibilita s přilehlými B-oblastmi, resp. s celkovým (globálním) modelem konstrukčního prvku či konstrukce. Jednoduché příhradové modely vycházejí z lineární pružné analýzy, kdy návrh rozmístění vzpěr a táhel respektuje směr hlavních trajektorií napětí. Pokud je to možné, snažíme se volit staticky určitou příhradovinu - v opačném případě má na velikost osových sil v příhradě vliv tuhost jednotlivých prvků, která je v době výpočtu neznámá.

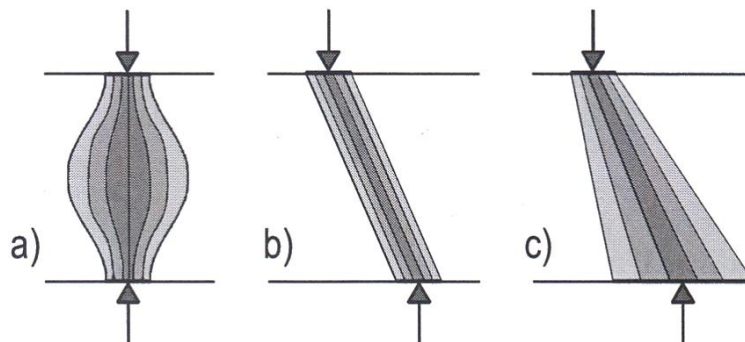


Obr. 5 Volba příhradového modelu [2]

3.2.1 Tlačené pruty - vzpěry

Vzpěry představují **tlačené pruty** příhradového modelu. Tvoří je pás betonu na spojnici sousedních uzlů. Vzpěry mohou mít různou šířku i tvar - viz Obr. 6.

Únosnost vzpěry je dána její šířkou, sklonem, podélným a příčným tvarem a přípustným napětím v betonu (redukovaná tlaková pevnost). Při výpočtu únosnosti vzpěry se zohledňuje vliv příčného tahového napětí.



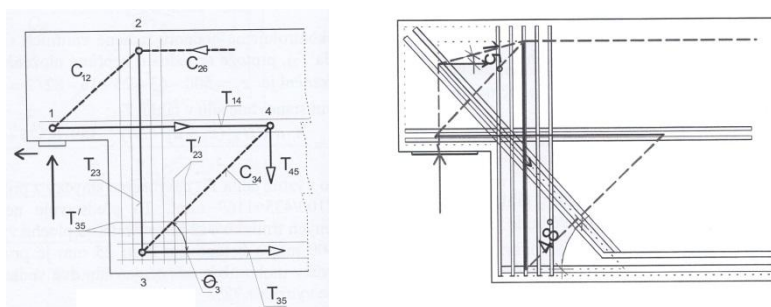
Obr. 6 Možný tvar betonových vzpěr v příhradovém model [2]

3.2.2 Tažené pruty - táhla

Táhla představují **tažené pruty** příhradového modelu a tvoří je pruty betonářské či předpínací výztuže. Síla v táhle je výslednicí sil vrstvy prutů výztuže - viz. Obr. 7.

Výztuž v táhle se většinou rozmístí na celou šířku táhla. Koncentrovaná táhla se uvažují pouze u líce změn průřezů nebo u líce postupů. Šířka táhla je dána vzdáleností mezi krajními výztužnými pruty + krycí vrstva nebo polovina vzdálenosti k další výztuži.

Únosnost táhla je daná plochou výztuže, návrhým napětím vycházejícím z meze kluzu a kvalitou zakotvení.



Obr. 7 Reálné vyztužení táhla příhradového modelu [2]

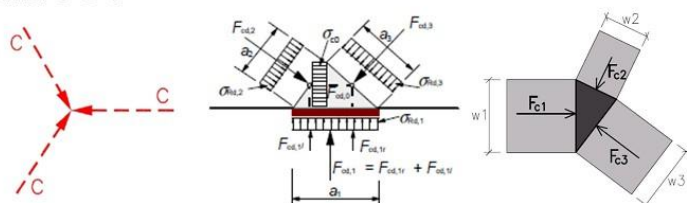
3.2.3 Uzly (styčníky)

Uzly představují ohraničenou část betonu, ve které dochází ke stykování jednotlivých prutů příhradového modelu - křížení a stykování vzpěr a táhel, odklon prutů vlivem kotvení a stykování výztuže, působiště zatížení, podepření. Jednotlivé varianty styčníků jsou zobrazeny na Obr. 8.

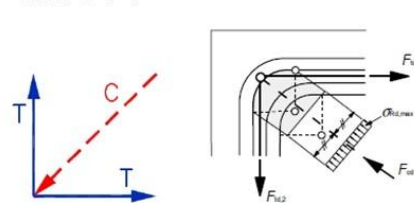
V uzlech musí být splněna podmínka rovnováhy sil ve styčníku. Velikost uzlu vychází z podmínek návrhu pro konkrétní typ uzlu. Zohledňuje se šířka vzpěr, příp. kotevní délka táhel.

Únosnost uzlu je dána jeho velikostí a přípustným napětím vycházejícím ze způsobu namáhání styčníku.

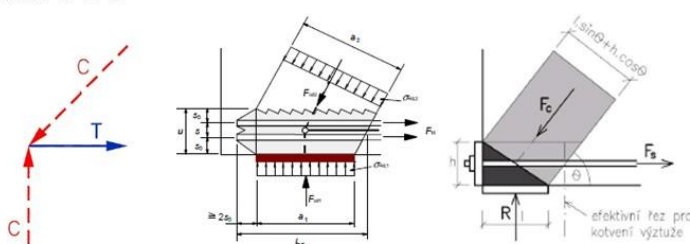
uzel C-C-C



uzel C-T-T



uzel C-C-T



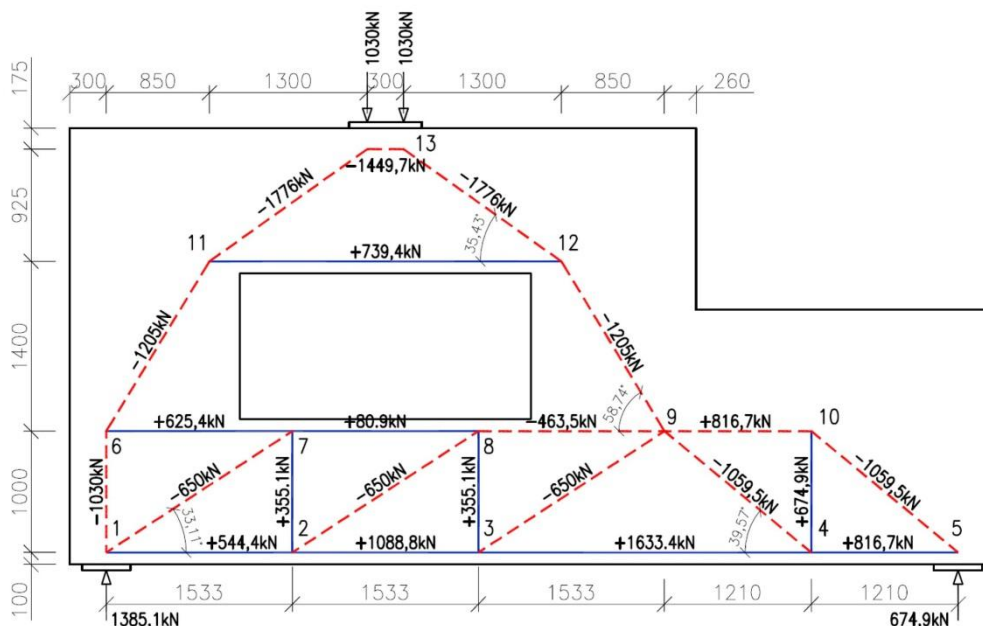
3.2.4 Postup výpočtu

Postup návrhu lokální D-oblasti lze rozdělit do následujících kroků:

- 1) definování hranice D-oblasti a určení okrajových podmínek (zatížení)
- 2) volba tvaru modelu a řešení vnitřních sil
- 3) návrh tvaru a plochy výztuže + způsobu kotvení v uzlech
- 4) stanovení velikosti vzpěr a uzlů pro zajištění kompatibility modelu (přenesení vnitřních sil)
- 5) návrh uspořádání výztuže - jednotlivé pruty

Volba vhodného modelu je klíčovou podmínkou celé metody, na níž závisí její přesnost. V případě klasických konstrukčních detailů se doporučuje neexperimentovat, ale volit osvědčený model. V některých případech lze kombinovat výsledky z více příhradových modelů.

Síly v prvcích prutového modelu se stanovují na základě podmínek statické rovnováhy - viz Obr. 9. Metoda příhradové analomie je řazena mezi plastické metody. Z toho důvodu je pro konstrukční detaily doporučeno použití výztuže (oceli) vyšší tažnosti. Při výpočtu se předpokládá vznik trhlin v betonu.



Obr. 9 Výpočet vnitřních sil příhradového modelu [3]

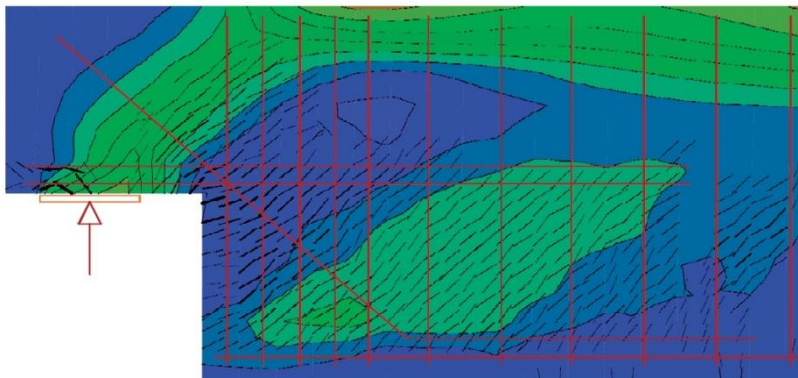
Návrh všech prvků modelu musí být proveden tak, aby napětí od účinků zatížení nepřekročilo příslušná kritéria pevnosti materiálů + musí být dodrženy příslušné konstrukční zásady.

Nevýhodou metody příhradové analomie je skutečnost, že neposkytuje jednoznačné řešení. To je totiž do značné míry ovlivněno zvoleným rozmístěním výztuže, která nemusí přesně nekopírovat pruty modelu.

Podrobnější informace týkající se optimalizace příhradových modelů viz [4].

3.3 Nelineární numerické metody

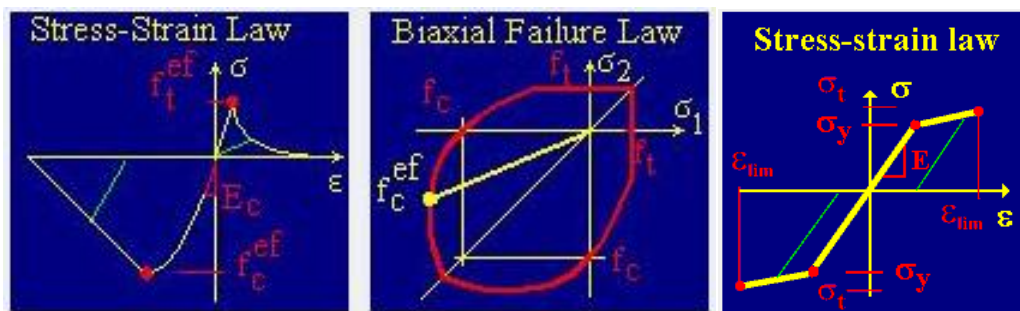
Alternativou pro řešení D-oblastí ŽB konstrukcí je použití nelineárních numerických metod výpočtu. Pro nelineární výpočty se obvykle používají výpočetní programy založené na **metodě konečných prvků** (MKP). Metoda využívá při výpočtu odezvy konstrukce **postupných kroků zatěžování**. Při nárůstu zatížení se zohledňuje nelineární chování materiálu, kdy **rozvojem trhlin** dochází ke změně tuhosti prvků. To má u staticky neurčitých konstrukcí za následek přerozdělení vnitřních sil do únosnějších částí (bez trhlin).



Obr. 10 Nelineární analýza ozubu programem ATENA [7]

Podmínkou správného nelineárního výpočtu ŽB konstrukce je znalost:

- **geometrie** konstrukce
- konkrétní podoby **vyztužení** - výztuž musí být modelována spolu s konstrukčním prvkem
- nelineárních **pracovních diagramů** použitého betonu i oceli
- polohy a způsobu **podepření a zatížení**



Obr. 11 Definice materiálových modelů v nelineárním programu ATENA [8]

Řešení je prováděno v jednotlivých zatěžovacích krocích iteračním způsobem, proto může být časově náročnější.

Mezní únosnosti dosáhne konstrukční prvek v kritickém průřezu při překročení mezního přetvoření betonu nebo výztuže nebo ztrátou stability.

Nelineární výpočet konstrukce obvykle zahrnuje základní **typy nelinearity**:

- **geometrická** - nelineární závislost posunů na poměrném přetvoření
- **fyzikální** - nelineární závislost napětí na přetvoření - souvisí s obecným tvarem pracovních diagramů a možným vznikem trhlin
- **lokální** - změna geometrie a okrajových podmínek konstrukce v průběhu výpočtu - vliv analýzy II. a III. řádu

Pokročilejší výpočetní programy zahrnují i další nelinearity:

- nelinearity **chování prvků** - např. neúčinnost při konkrétním způsobu namáhání (tlak nebo tah), prokluz v uchycení
- nelinearity **podpor** - neúčinnost za určitých podmínek, třecí podpory

Nelineární metody umožňují používat různé materiálové modely a **typy chování** (elasticko-plastické, plastické, viskoelastické, princip lomové mechaniky) [5].

V závislosti na pokročilosti výpočetního programu je možné zohlednit:

- geometrické i materiálové **imperfekce**
- **nedokonalosti podpor** - neexistuje dokonalý kloub ani vetknutí
- **smršťování a dotvarování** betonu

Většina nelineární programů MKP automaticky zohledňuje **vliv II. řádu** (výpočet vnitřních sil na deformované konstrukci - u štíhlých konstrukcí nelze zanedbat), příp. **III. řádu** (analýza velkých deformací - např. posouzení lan).

V případě stabilitních výpočtů lze provést **nelineární stabilitní analýzu** konstrukce.

Metody nelineární analýzy lze použít jak v MSÚ, tak v MSP, za předpokladu, že jsou splněny podmínky rovnováhy a spojitosti při uvažování odpovídajícího nelineárního chování materiálů. V MSÚ je potřeba ověřovat schopnost kritických průřezů odolávat nepružným deformacím. U konstrukcí převážně staticky zatížených lze většinou zanedbat účinky předcházejících zatížení a lze předpokládat monotónní růst intenzity zatížení [6].

4 Seznam literatury

4.1 Použitá literatura

- [1] Procházka J. a kol.: *Navrhování betonových konstrukcí 1 - Prvky z prostého a železového betonu*. ČBS Servis, s.r.o., 2009
- [2] Kohoutková A., Procházka J., Šmejkal J.: *Modelování a vyztužování betonových prvků - Lokální modely železobetonových konstrukcí*. ČVUT v Praze, Praha, 2013.
- [3] Semrád K., Szücs C.: *Řešené příklady betonových konstrukcí pomocí příhradové analogie*. Projekt FRVŠ 2311/2009/G1, ČVUT v Praze, 2009.
- [4] Semrád K.: *Optimalizační metoda pro automatický návrh výztuže železobetonových prvků*. PhD Thesis, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových konstrukcí a mostů. Praha 2011.
- [5] Jirásek M., Zeman J.: *Přetváření a porušování materiálů - dotvarování, plasticita, lom, poškození*. ČVUT v Praze, 2006.
- [6] ČSN EN 1992-1-1: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ČNI 2005
- [7] Šmejkal J., Procházka J.: *Navrhování ozubů nosníků a desek s použitím modelů náhradní příhradoviny*. In: Beton TKS 2/2010, Beton TKS s.r.o., Praha, 2010, s. 102-106. ISSN 1213-3116
- [8] Červenka J., Procházková Z., Sajdllová T.: *ATENA Program Documentation - Part 4-2: Tutorial for Program ATENA 3D*. Červenka Consulting s.r.o., Prague, 2016.

4.2 Doporučená literatura

- [9] Kohoutková A., Procházka J., Šmejkal J.: *Modelování a vyztužování betonových prvků - Lokální modely železobetonových konstrukcí*. ČVUT v Praze, Praha, 2013.

Jedná se o skripta vydaná na katedře betonových a zděných konstrukcí FSv ČVUT v Praze. V dokumentu jsou uvedeny základní i alternativní postupy pro návrh nejběžnějších poruchových oblastí železobetonových konstrukcí - náhlé změny výšky průřezů, zatížení osamělým břemenem, konzoly, ozuby, prostupy v nosnících a rámové rohy.

- [10] Semrád K., Szücs C.: *Řešené příklady betonových konstrukcí pomocí příhradové analogie*. Projekt FRVŠ 2311/2009/G1, ČVUT v Praze, 2009.

Práce popisuje základní principy tvorby modelů náhradní příhradoviny a jejich použití při řešení železobetonových konstrukcí. Druhá část práce obsahuje komentované příklady řešení konkrétních poruchových oblastí.

URL http://concrete.fsv.cvut.cz/projekty/FRVS_2311.2009.php

- [11] Semrád K.: *Optimalizační metoda pro automatický návrh výztuže železobetonových prvků*. Disertační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových konstrukcí a mostů. Praha 2011.

Práce se zabývá návrhem optimalizační metody pro automatické generování náhradních příhradových modelů a tomu odpovídající návrh výztuže. Navržený postup zohledňuje nehomogenní podstatu železobetonu zavedením rozdílných materiálových vlastností betonu a výztuže. Výsledkem optimalizace je maximální efektivita rozložení výztuže, pro jejíž provedení je zapotřebí minimální množství oceli.



- [12] Semrád K., Štefan R.: *Optimalizační metoda pro automatický návrh výztuže železobetonových prvků*. In: Beton TKS 1/2012, Beton TKS s.r.o., Praha, 2012, s. 60-65. ISSN 1213-3116

Článek představuje optimalizační metodu pro automatické generování náhradních příhradových modelů, vytvořenou v rámci stejnojmenné disertační práce autora Ing. Karla Semráda. Možnosti uplatnění metody jsou prezentovány na řešených příkladech vybraných konstrukčních prvků a detailů.

URL http://www.betontks.cz/sites/default/files/2012-1-60_0.pdf

- [13] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování s použitím modelů náhradní příhradoviny. In: Beton TKS 5/2009, Beton TKS s.r.o., Praha, 2009, s. 80-55. ISSN 1213-3116

Článek se zabývá tvorbou modelů náhradní příhradoviny pro lokální analýzu poruchových oblastí železobetonových konstrukcí. Popisuje základní principy idealizace konstrukce, analyzuje parametry jednotlivých prvků náhradního příhradového modelu a uvádí základní vztahy pro výpočet jejich namáhání.

URL http://www.betontks.cz/sites/default/files/2009-5-80_0.pdf

- [14] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování konzol s použitím modelů náhradní příhradoviny. In: Beton TKS 6/2009, Beton TKS s.r.o., Praha, 2009, s. 48-53. ISSN 1213-3116

Článek uvádí modely náhradní příhradoviny pro analýzu konzol a návrh jejich výztuže. Modely náhradní příhradoviny jsou uvedeny pro všechny nejčastější typy konzol, a to s přihlédnutím k ČSN EN 1992-1-1 a DIN 1045-1. Na základě nelineárních analýz, praktických zkušeností a závěrů experimentů jsou pak uvedena doporučení pro návrh a vyztužení různých druhů konzol.

URL http://www.betontks.cz/sites/default/files/2009-6-48_0.pdf

- [15] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování nepřímo uložených a složených konzol s použitím modelů náhradní příhradoviny. In: Beton TKS 1/2010, Beton TKS s.r.o., Praha, 2010, s. 46-53. ISSN 1213-3116

Článek uvádí modely náhradní příhradoviny pro analýzu nepřímo uložených lokálních a průběžných konzol a vícenásobných konzol. Doporučení pro jejich vyztužení jsou uvedena na základě nelineárních analýz, praktických zkušeností a závěrů experimentů. Návrhové modely náhradní příhradoviny vycházejí z ČSN EN 1992-1-1, DIN 1045-1 a dalších odborných publikací. V závěru je zhodnocen vliv nepřesností při výrobě a montáži prvků s konzolami.

URL http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-1-46_0.pdf

- [16] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování ozubů nosníků a desek s použitím modelů náhradní příhradoviny. In: Beton TKS 2/2010, Beton TKS s.r.o., Praha, 2010, s. 102-106. ISSN 1213-3116

Článek uvádí modely náhradní příhradoviny pro analýzu ozubů nosníků a návrh jejich výztuže. Modely náhradní příhradoviny jsou uvedeny pro všechny nejčastější typy ozubů nosníků a desek, a to s přihlédnutím k ČSN EN 1992-1-1 a DIN 1045-1. Na základě nelineárních analýz, praktických zkušeností a závěrů experimentů jsou uvedena doporučení pro návrh a vyztužení ozubů.

URL http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-2-102_0.pdf

- [17] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování prostupů nosníků s použitím modelů náhradní příhradoviny. In: Beton TKS 3/2010, Beton TKS s.r.o., Praha, 2010, s. 48-56. ISSN 1213-3116

Článek uvádí modely náhradní příhradoviny pro analýzu oblastí nosníků s prostupy a návrh příslušné výztuže. Modely náhradní příhradoviny jsou uvedeny pro malé a velké prostupy v nosnících s přihlédnutím k ČSN EN 1992-1-1 a DIN 1045-1. Na základě nelineárních analýz, praktických zkušeností a závěrů experimentů jsou pak uvedena doporučení pro návrh poruchové oblasti v okolí prostupů.

URL http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-3-48_0.pdf



- [18] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování rámových rohů s použitím modelů náhradní příhradoviny. In: Beton TKS 5/2010, Beton TKS s.r.o., Praha, 2010, s. 66-73. ISSN 1213-3116

Článek uvádí modely náhradní příhradoviny pro analýzu oblastí rámových rohů a styčníků návrhem příslušné výztuže. Modely náhradní příhradoviny jsou uvedeny pro rámové rohy s kladným a záporným působením ohybového momentu, pro rámové rohy s rozdílnou výškou příčle a sloupu, pro tupé a ostré rámové rohy a rámové styčníky krajních a vnitřních spojitých sloupů s příčlemi podle ČSN EN 1992-1-1 a DIN 1045-1. Na základě nelineárních analýz, praktických zkušeností a závěrů experimentů jsou uvedena doporučení pro návrh těchto poruchových oblastí.

URL http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-5-66_0.pdf

- [19] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování stěnových nosníků s použitím modelů náhradní příhradoviny. In: Beton TKS 6/2010, Beton TKS s.r.o., Praha, 2010, s. 52-59. ISSN 1213-3116

Článek uvádí modely náhradní příhradoviny pro analýzu stěnových nosníků s návrhem příslušné výztuže podle ČSN EN 1992-1-1 a DIN 1045-1. Jsou uvedeny modely náhradní příhradoviny pro prostě uložené a spojitě stěnové nosníky a stěnové nosníky s prostupy. Na základě nelineárních analýz, praktických zkušeností a závěrů experimentů jsou pak uvedena doporučení pro návrh těchto poruchových oblastí.

URL http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-6-52_0.pdf

- [20] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování základových konstrukcí s použitím modelů náhradní příhradoviny. In: Beton TKS 2/2011, Beton TKS s.r.o., Praha, 2011, s. 76-86. ISSN 1213-3116

Článek uvádí příklady použití modelů náhradní příhradoviny při navrhování základových konstrukcí podle ČSN EN 1992-1-1 a DIN 1045-1. Jsou uvedeny modely náhradní příhradoviny pro základové blokové patky, patky s prohlubněmi, základové pasy a hlavice pilot. Na základě nelineárních analýz, praktických zkušeností a závěrů experimentů jsou pak uvedena doporučení pro návrh těchto základových konstrukcí s využitím modelů poruchových oblastí.

URL http://www.betontks.cz/sites/default/files/2011-2-76_0.pdf

- [21] Zeman J.: *Zásady modelování konstrukcí metodou konečných prvků*. Projekt RPMT 2014 - Využití pokročilého modelování konstrukcí v magisterském studiu, ČVUT v Praze, Praha, 2013.

Dokument shrnuje základní principy tvorby modelů založených na metodě konečných prvků (MKP), jejich následné analýzy a interpretace získaných výsledků. Dokument se zaměřuje na základní orientaci v problému, důraz je kladen na úlohy stavební mechaniky.

URL http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/RPMT/RPMT_zasady.pdf

- [22] Bittnar Z., Šejnoha J.: *Numerické metody mechaniky 1*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1992.

Publikace poskytuje detailní popis teoretických principů MKP a jejich implementace. Tento první díl se věnuje lineárním úlohám.

URL <http://mech.fsv.cvut.cz/wiki/index.php/File:Nmm1.pdf>

- [23] Bittnar Z., Šejnoha J.: *Numerické metody mechaniky 2*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1992.

Publikace navazuje na stejnojmenný první díl. Tento druhý díl se zabývá nelineárními úlohami a řadou specifických témat jako jsou např. metoda pásů, metoda hraničních prvků, stochastické konečné prvky, lomová mechanika atd.

URL <http://mech.fsv.cvut.cz/wiki/images/e/e6/Nmm2.pdf>

