

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering

Dr. Ing. Luboš Podolka

Zesilování železobetonových konstrukcí příklady

Strengthening concrete structures examples

Summary

The first part of the presented grounds what for the structures strengthening and what are possibilities you're strengthening. Item are demonstration elementary failures bearing structures and elements.

The second part of the presented on the separate account method rescue concrete structures. At all times are put across analysis what for structures need strengthening and next follow out self description selected way strengthening structures.

Primary specimen is strengthening prefab building scheme VVU-ETA, with whose things are space adaptation of one etage, that have call round check on bearing structures.

Next specimen is repairing functionless dilatation joint beam flooring plate business building. Has been select alternate, when new design steel brace transmitting sum total load.

Third specimen is strengthening flooring plate after wildfire, as to which raise the change materials characteristics concrete and reinforcement. At the same time arose claim to increase in bearing load.

Under mentioned other specimens strengthening structures, which prove by evidence range of work and eventual means of strengthening concrete structures.

At the conclusion is state short summary of method of use for strengthening separate construction elements.

Souhrn

V úvodu jsou popsány důvody proč se konstrukce zesilují a jaké máme možnosti vlastního zesílení, také jsou ukázány základní poruchy nosných konstrukcí.

V další části je na jednotlivých případech dokumentován způsob sanace železobetonové konstrukce. Vždy je proveden rozbor proč se konstrukce zesiluje a dále následuje vlastní popis zvoleného způsobu zesílení konstrukce.

Prvním příkladem je zesílení montované konstrukce tvořené systémovým objektem VVU – ETA, u kterého dochází k prostorové úpravě jednoho podlaží, která si vyžádala řadu zásahů do nosné konstrukce.

Druhým příkladem je oprava nefunkční dilatační spáry na průvlaku stropní konstrukce obchodního domu. Byla zvolena varianta, kdy nově navržená ocelová konzola přenáší celkové působící zatížení.

Třetím příkladem je zesílení stropní desky po požáru, který způsobil změnu materiálových charakteristik betonu i výztuže, současně s tím že bude stropní deska rekonstruována vznesl investor požadavek na navýšení užitného zatížení.

Dále následují další příklady zesílení konstrukcí, které dokumentují rozsah a možné způsoby zesílení železobetonových konstrukcí.

Na závěr je uveden stručný přehled způsobů používaných k zesílení jednotlivých konstrukčních prvků.

Klíčová slova :

Zesilování, železobetonové konstrukce, sanace, oprava

Keywords :

Strengthening, concrete structures, rescue, repair,

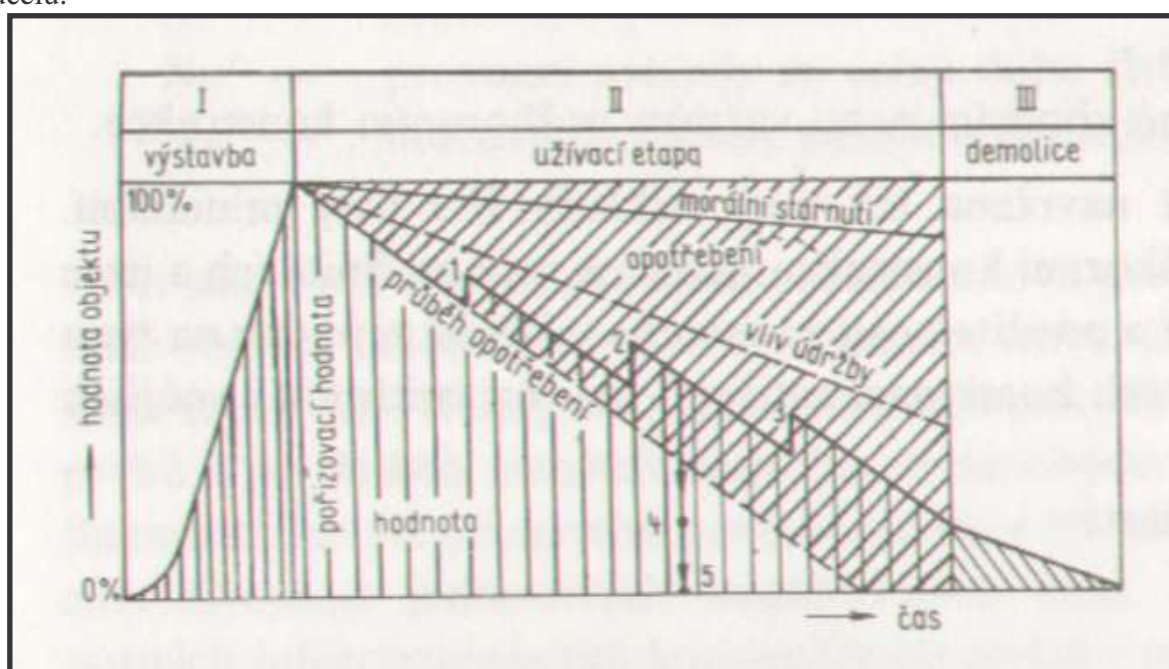
Obsah :

1.	ÚVOD :	6
1.1	Hodnota objektu	6
1.2	Možné poruchy konstrukcí :	6
2.	Způsoby zesilování železobetonových konstrukcí	9
2.1	Odlehčení :	9
2.2	Zvýšení únosnosti :	10
3.	Příklady zesilovaných konstrukcí	14
3.1	Dům s pečovatelskou službou	14
3.1.1	Posouzení přenosu síly ze zesilující výztuže do betonu	17
3.1.2	Realizace zesílení nadpraží dveřních a okenní otvorů	18
3.2	Sanace dilatační spáry u obchodního centra	19
3.2.1	Návrh zesílení pomocí ocelového krakorce :	21
3.3	Zesílení stropní konstrukce v areálu DDL Lukavec	22
3.3.1	Vysvětlení metodiky návrhu zesílení pomocí FRP výztuže	26
3.4	Další příklady zesílení konstrukcí	27
3.4.1	Příklad zesílení cihelného pilíře objímkou z ocelových L profilů a pásků z ploché oceli	27
3.4.2	Příklad zesílení stropní desky na horním líci plochou ocelí	28
3.4.3	Zesilování základů	29
4	Závěr	30
4.1	Nejčastěji používané způsoby zesílení :	30

1. ÚVOD :

1.1 Hodnota objektu

Časový přehled o hodnotě objektu je na obr. 1. V části I hodnota objektu roste tak, jak postupuje výstavba. Tato doba má být co nejkratší, aby část II, tj. užívací etapa, byla co nejdelší. V druhé etapě budova plní svou funkci, přičemž klesá její užitná hodnota fyzickým a morálním opotřebením. Rekonstrukcí, údržbou či opravou hodnota objektu opět vzroste – hodnota 1,2,3. V případě vážného poškození objektu (výbuch, požár) hodnota objektu klesá na hodnotu 4, popř. až na nulovou hodnotu 5. Ve třetí etapě může být provedena demolice, neboť amortizační fond byl už získán. Objekt je možno používat při podstatně horší kvalitě ke stejnému účelu jako v průběhu druhé etapy nebo jej lze využít k jinému, méně náročnému účelu.



Obr. 1 Hodnota objektu v časové závislosti 1,2,3 – prováděné opravy či rekonstrukce, 4,5 – hodnota objektu např. po výbuchu

1.2 Možné poruchy konstrukcí :

Porucha konstrukčního prvku nebo celého objektu nastává v podstatě narušením rovnováhy mezi vnitřními a vnějšími vlivy, resp. statickými veličinami, popř. oběma příčinami současně. Nastává nedodržením vztahu :

$$R_{\min} \geq S_{\max}$$

kde $R_{\min}$ je únosnost konstrukce, nebo konstrukčního prvku charakterizovaná hodnotami vnitřních sil

$S_{\max}$ statické veličiny vyplývající z vnějšího zatížení, včetně vlivu prostředí

Poruchy dělíme z hlediska statické závažnosti na :

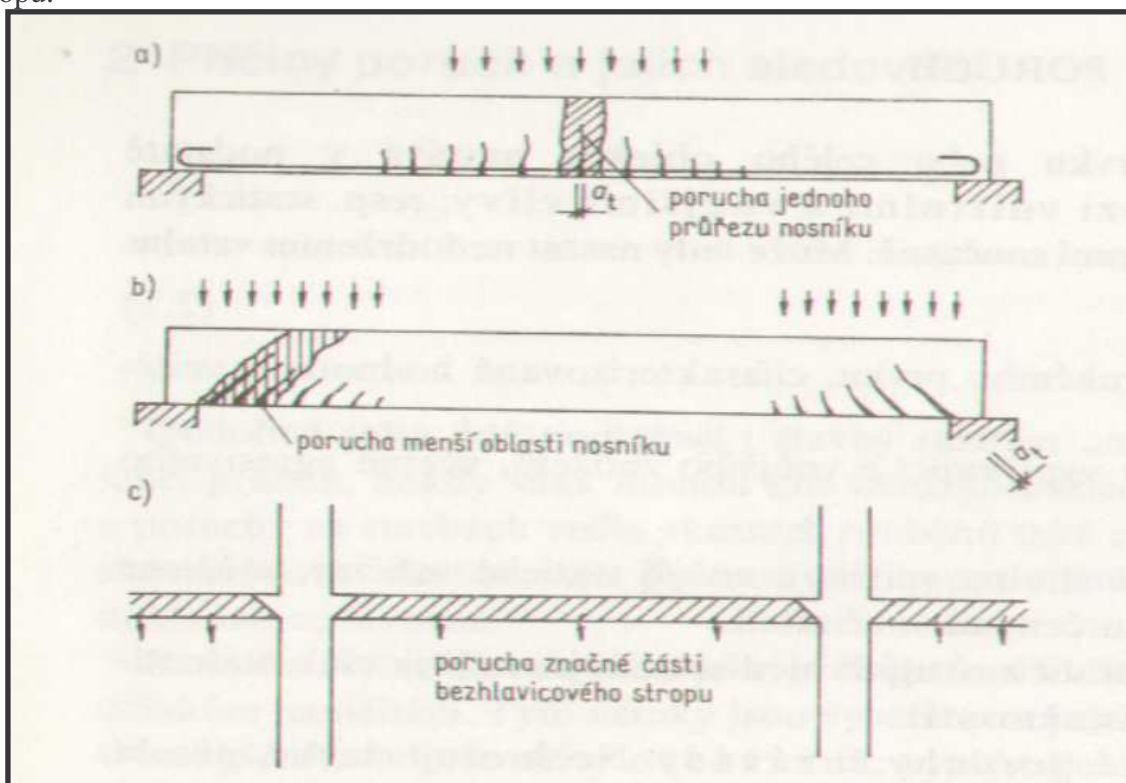
Staticky nevýznamné poruchy či závady. Neohrožují stavbu, působí však neesteticky a psychologicky nepříznivě, a proto je odstraňujeme. Oprava bývá jednoduchá a nenáročná.

Poruchy z hlediska statického a funkčního závažné. Vhodně volenými metodami musí být odstraněny pro zajištění bezpečnosti stavebního díla.

Poruchy staticky velmi závažné, tzv. havarijní, u nichž je bezpodmínečně nutný okamžitý zásah. Jakékoliv zpoždění zajišťovacích prací a následných sanačních opatření může vést ke zničení objektu.

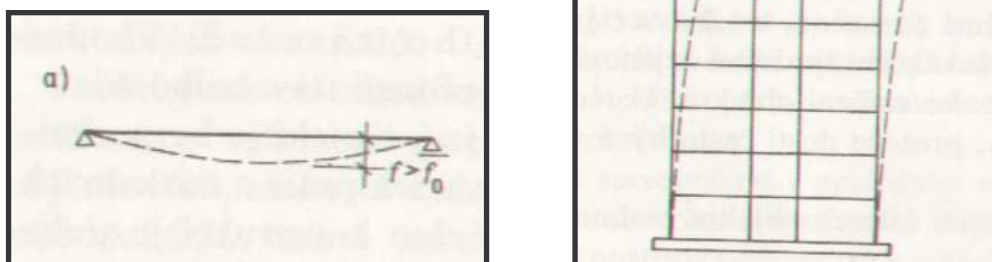
Nejčastější poruchy, které mají statické i jiné důsledky, jsou schématicky vyznačeny na uvedených obrázcích. Je třeba je znát, abychom byli schopni z nich vycházet při návrzích rekonstrukce. Poruchy základní se mohou vyskytovat i v různých kombinacích.

Ze statického hlediska jsou nejvíce exponovány, a tím nejvíce ohroženy poruchou vyčerpáním únosnosti, průřezy s maximálním ohybovým momentem a) jedná se o poruchu jednoho průřezu, nebo maximální posouvající silou b) porucha menší oblasti, nebo vyčerpáním únosnosti v protlačení u deskové konstrukce c) kde nastává porucha či zřícení značné části stropu.



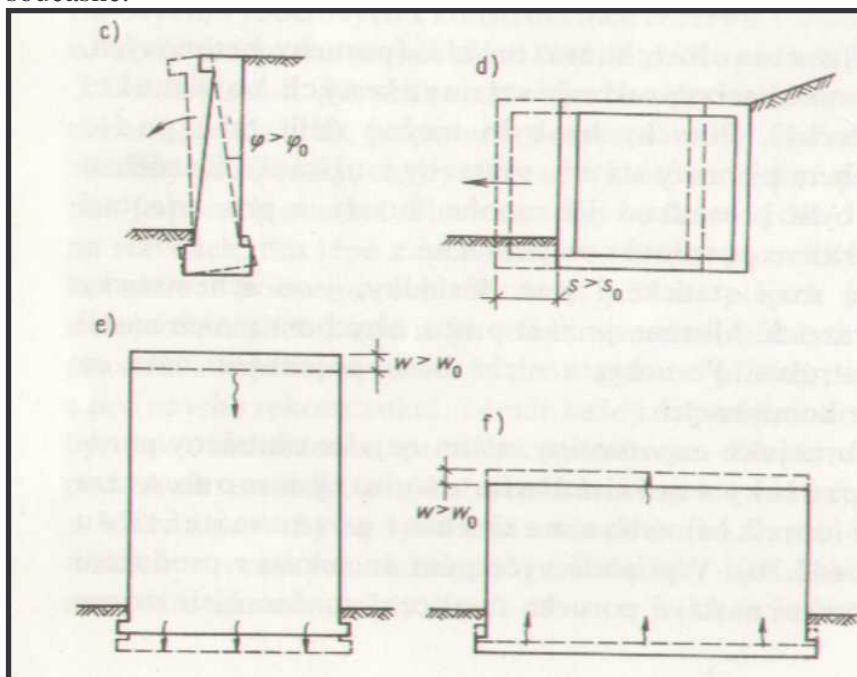
Obr. 2 Různé možnosti poruchy konstrukčního prvku, a) vyčerpání únosnosti v ohybu, b) vyčerpání únosnosti ve smyku, c) vyčerpání únosnosti v protlačení

Poruchy z nadměrných deformací jsou znázorněny na dalším obrázku, jedná se o překročení dovoleného průhybu nosníku a), nebo překročení dovolené výchylky výškového objektu b).



Obr. 3 Poruchy objektu vlivem nadměrných deformací, a) překročení dovolené hodnoty průhybu, b) překročení dovolené výchylky objektu

Podobné nedostatky vznikají i nadměrným pootočením objektu, např. opěrné zdi c), posunutím ve vodorovném směru d), nadměrným rovnoměrným či nerovnoměrným sednutím objektu e), nebo při menších výškách objektu, tj. nízké hmotnosti objektu a výrazném vztlaku vody může dojít k nadzvednutí objektu f), popř. může nastat několik výše popsanych poruch současně.



Obr. 4 Poruchy objektu vlivem nadměrných deformací, c) nadměrné pootočení objektu, d) nadměrný posun objektu, e) nadměrné sednutí objektu, f) nadměrné zvednutí objektu.

Další příčinou vzniku poruchy může být nevhodně provedená rekonstrukce, např. při odstraňování nějakého nosného prvku byl zvolen nevhodný návrh či nevhodně byla provedena navržená rekonstrukce.

Dále se setkáváme i s poruchami vzniklými nadměrnou teplotou a to při požáru či výbuchu technologického zařízení většinou je příčinou poruchy nedbalost.

Další příčinou poruchy bývá i agresivní prostředí, které způsobuje korozi betonu a výztuže. Mezi agresivní prostředí řadíme škodlivý vliv olejů, agresivní kyseliny, chemické zplodiny apod. Pro betonové konstrukce je závažné, že při vzniku rzi na betonářské výztuži dochází ke zvětšování objemu vložky až na dvou až třínásobek. Vznikají tahová napětí jenž trhají krycí vrstvu betonu, která postupně odpadáva.



Obr. 5 Pohled na korozivní porušení krycí vrstvy betonu.

2. Způsoby zesilování železobetonových konstrukcí

Jedním ze základních problémů při zesilování betonových konstrukcí je spojení starého a nového betonu, nebo aktivace zesilující konstrukce či prvku při použití oceli či jiných materiálů. Zkoušky chování betonu různého stáří při různém způsobu namáhání, pokud jde o jejich pevnost a soudržnost, je nutno brát s rezervou. V poslední době se technologie spojování starého a nového betonu zlepšila používáním lepidel, vkládáním trnů apod.

Při návrhu a posuzování zesílené konstrukce je nutno postupovat opatrně a teoretické výsledky hodnotit velmi kriticky, protože zpravidla nemáme dostatečně přesný obraz o stavu zesilované konstrukce. Přestože dokážeme poměrně přesně zjistit jakost betonu, oceli, rozměry prvků, polohu a rozměry výztuže, řada dalších veličin je nám neznáma. Často jsou totiž zesilované prvky prostoupeny trhlinkami, a tak poloha neutrálné osy, velikost momentu setrvačnosti jsou poněkud jiné než předpokládáme v teoretickém výpočtu. Další problém vzniká tím, že původní konstrukce je pod vlivem zatížení ve stavu napjatosti a nová část betonu teprve tvrdne a prodělává objemové změny. Zároveň se liší i moduly pružnosti použitých betonů. Skutečnou únosnost zesilovaného prvku by jsme prokázali pouze zatěžovací zkouškou, teoretický výpočet se této hodnotě pouze s určitou přesností blíží.

Účelem zesílení konstrukce je dosáhnout spolehlivosti konstrukce či prvku na požadované zatížení pro oba mezní stavy, tj. mezní stav únosnosti i mezní stav použitelnosti. Zároveň musíme zajistit i životnost objektu či prvku při sledování hospodárnosti všech prací.

Důvodem zesílení konstrukce nebo prvku může být :

- Zvětšení zatížení, na které nebyla původní konstrukce dimenzována, tento případ se vyskytuje nejčastěji
- Obnovení snížené únosnosti konstrukce způsobené různými vlivy, přetížení, agresivní prostředí, a to na původní hodnotu zatížení
- Podstatné zvýšení snížené únosnosti konstrukce nebo prvku, tj. očekává se že objekt či prvek bude mít po rekonstrukci podstatně vyšší únosnost, i přesto že jeho únosnost během používání poklesla, než na kterou byl navržen

Z hlediska doby trvání rozlišujeme způsoby zesílení na :

- Krátkodobé, které je omezeno na krátkou dobu, např. podepření konstrukce při stěhování těžkého stroje, mimořádného vozidla po mostě apod.
- Definitivní, tj. na neomezenou nebo velmi dlouhou dobu

2.1 Odlehčení :

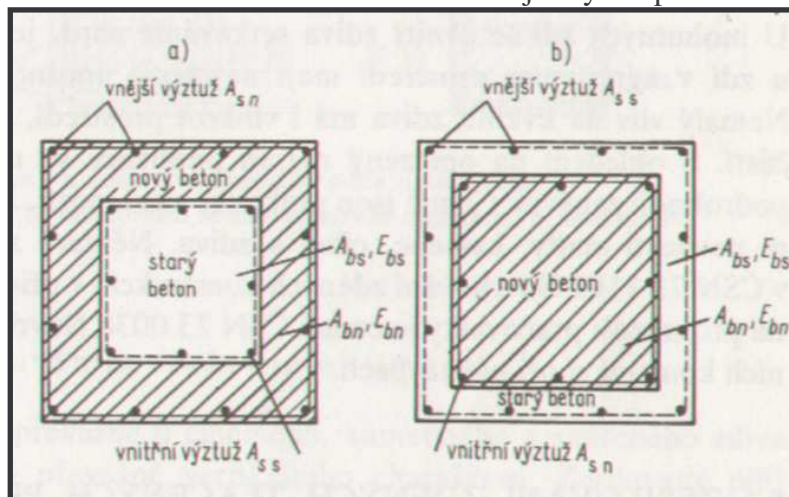
Při odlehčení stávající konstrukce je třeba prokázat možnost zvýšení únosnosti výpočtem tak, že buď hledáme rezervy konstrukce nebo přenášíme zatížení do těch částí konstrukce, které jsou schopny je přenést. Použití odlehčovacích konstrukcí je možno rozdělit do dvou částí :



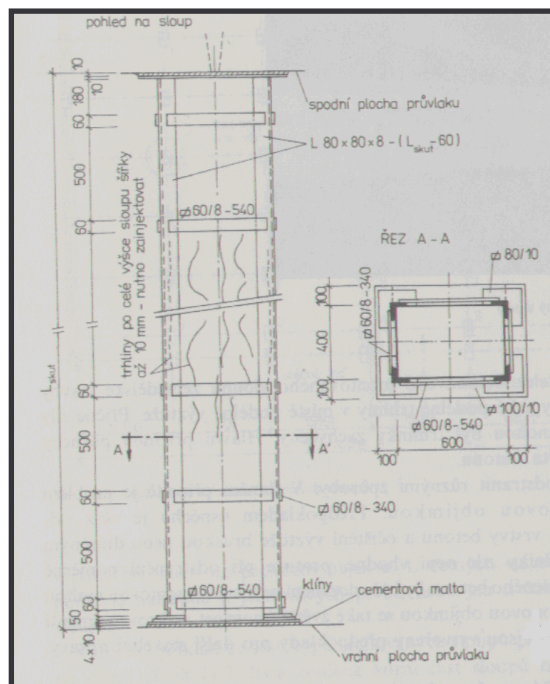
Obr. 6 Pohled na zesílení cihelné klenby pomocí podbetonování (použit torkret) případně nadbetonování (použita běžná betonáž)

b) plné odlehčení - nová konstrukce přejímá celé zatížení a původní konstrukce je ze spolupůsobení vyloučena nebo odstraněna.

Beze změny statického systému



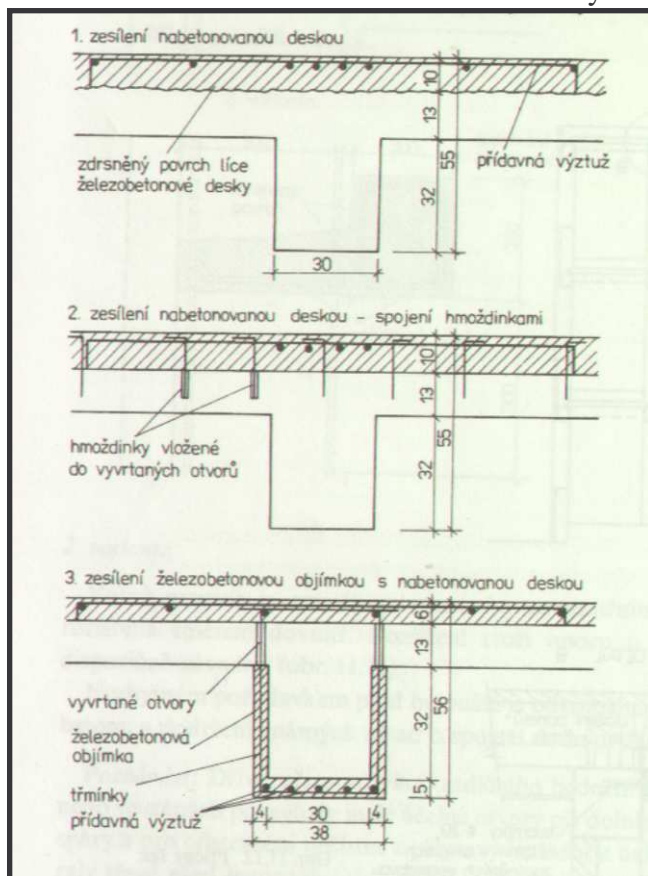
Zásadní otázkou při zesilování sloupů železobetonovou objímkou je rozdělení výslednice vnějšího zatížení do původního sloupu a na vnější, zesilovanou část. Uplatňuje se zde zejména vliv smršťování a dotvarování starého a nového betonu. Přídavné síly jsou zde proměnné v čase a proto se mění vzájemné rozdělení vnitřních sil a napětí po průřezu.



Obr. 8 Zesílení sloupu ocelovou objímkou na hranách sloupu

Zesílení sloupů ocelovou objímkou navrhujeme zpravidla jen v rozích původního sloupu. Zvláštní pozornost musí být věnována aktivování přídavné ocelové konstrukce na požadovanou hodnotu. K vyvození potřebné síly se zpravidla používají lisy, popř. jen ocelové klíny. Na ocelovou objímkou se z estetických a i požárních hledisek doporučuje připevnění pletiva a celý povrch pak následně do požadovaného tvaru bývá otorkretován nebo omítnut.

❖ Jednostranné zvětšení tloušťky desky



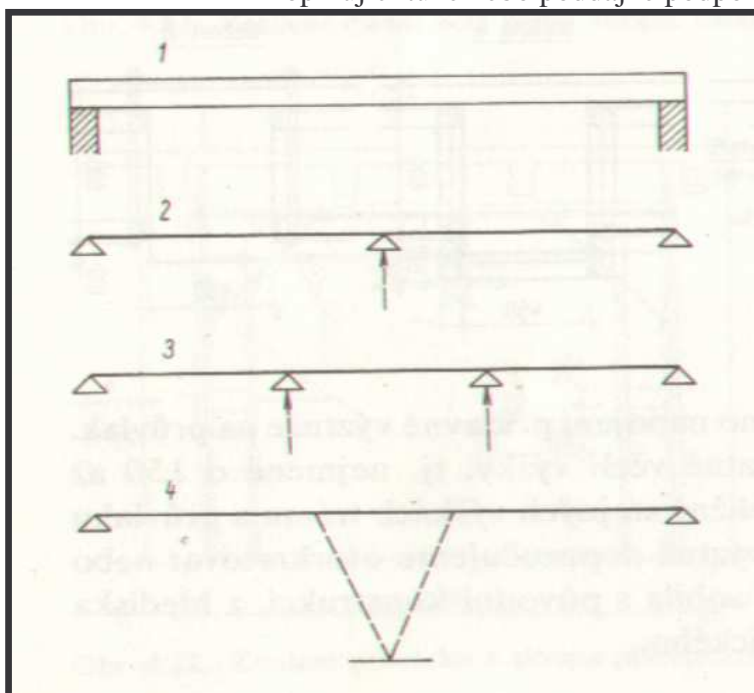
Obr. 8 Pohled na zesílení stropní desky, resp. trámového stropu zvětšením tloušťky desky
Zesílení desek spojených u žebrových stropů, křížem vyztužených i jiných typů může být provedeno těmito způsoby :

- Nabetonováním (u kladných ohybových momentů). Předpokládá se plné spojení starého a nového betonu
- Nabetonováním s přidáním výztuže (u záporných ohybových momentů). Je nutno rozlišovat, zda je starý beton spojen s novým či nikoliv. Jestliže starý a nový beton není spojen mluvíme o odlehčovací desce
- Přibetonováním (otorkretováním) a přidáním výztuže na dolním líci. Užívá se méně často pro značnou pracnost, jen když nelze uvolnit horní povrch desky
- Přilepením výztuže na spodní či horní povrch desky, ze statického hlediska jde o zvětšení plochy nosné výztuže

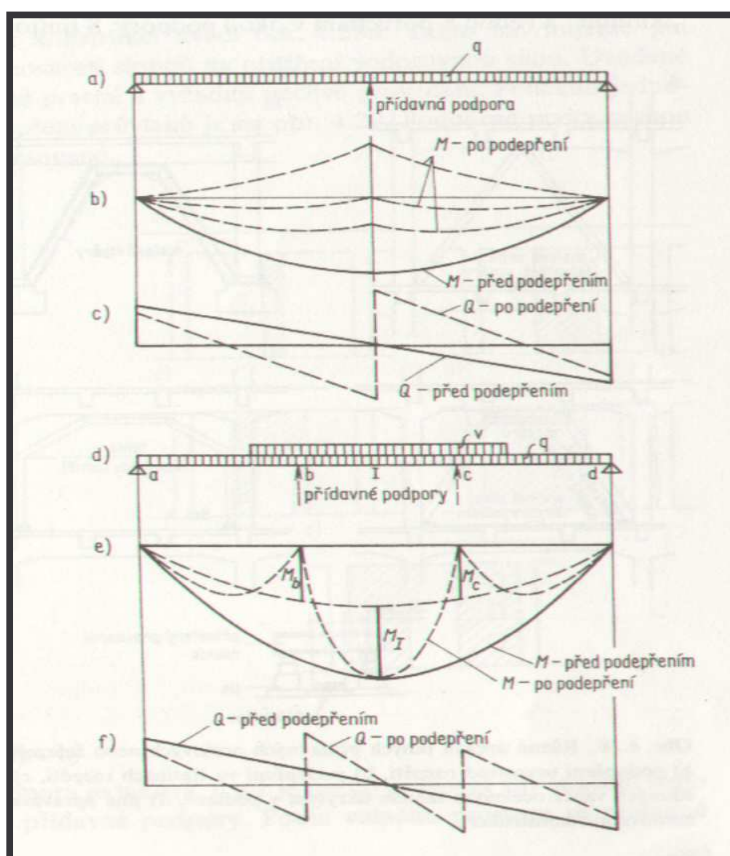
Při zesilování konstrukcí nabetonováním, obetonováním apod. je nejdůležitější vytvořit dobrý spoj mezi starým a novým betonem. Na spojení má vliv nejen mechanická úprava spáry a použitý spojovací prostředek, ale i rozdíl ve stáří dvou druhů betonu. Starý beton dosahuje téměř konečné hodnoty smrštění, zatímco nový beton je teprve v počátečním stádiu smršťování. Namáhání spáry mezi starým a novým betonem může být různé. Nejčastěji se vyskytuje namáhání ve smyku, ale i jiné způsoby namáhání nejsou zvláštností.

Se změnou statického systému

❖ Doplnující tuhé nebo poddajné podpory



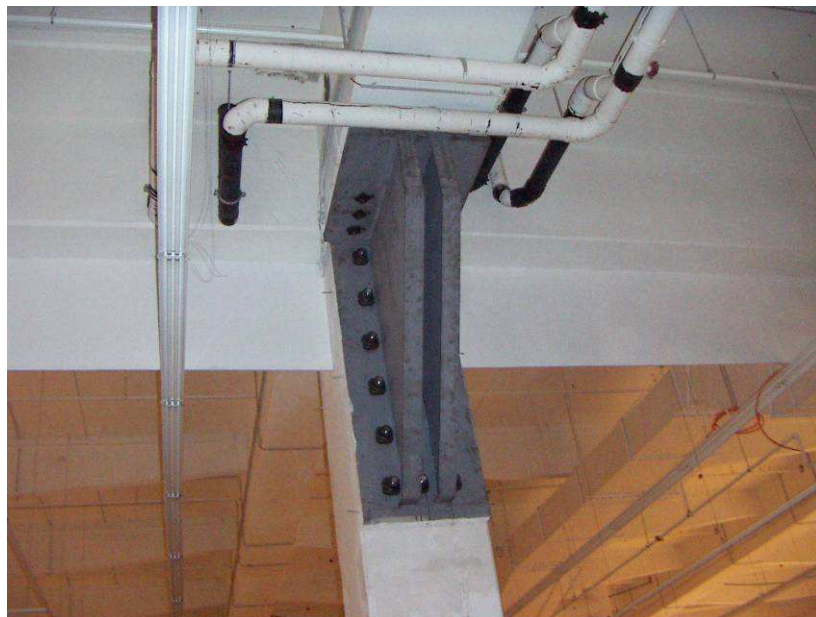
Obr. 9 Různé způsoby umístění přidavných podpor, 1 základní prostý nosník, 2 vložení jedné podpory, 3 vložení dvou podpor, 4 vložení šikmých podpor zmenšujících rozpětí, podpory na společném základu.



Obr. 10 Průběh ohybových momentů a posouvajících sil před vložení a po vložení přidavné podpory, a) až c) vložení jedné přidavné podpory, d) až f) vložení dvou přidavných podpor.

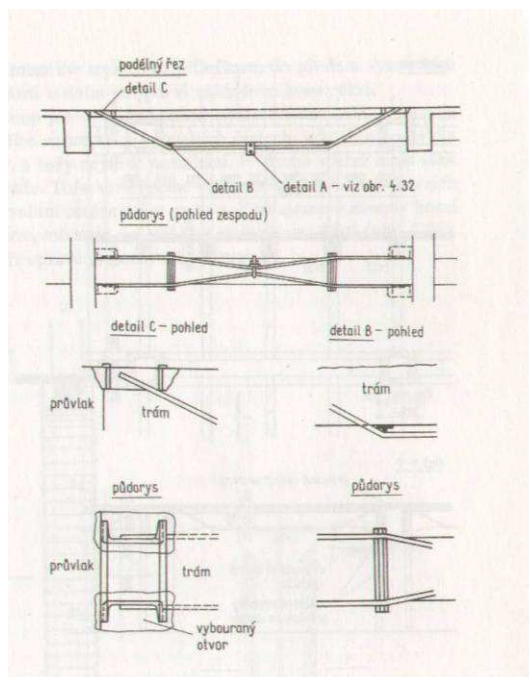
Často je vhodné zvětšení únosnosti trámu či průvlaku řešit vložением jedné nebo více mezilehlých podpor. Počet podpor je většinou limitován provozem pod podpíranou konstrukcí a možnostmi omezení provozu. Ze statického hlediska se jedná o změnu statické soustavy konstrukce.

❖ Ocelové krakorce



Obr. 11 Pohled na podchycení nosníku ocelovým krakorcem.

❖ Dodatečným předpjetím



Obr. 12 Pohled na zesílení trámu přidavnými šikmými táhly

Přidavná táhla především šikmá mohou zesilovat konstrukci jak na ohybový moment tak i na smyk. Z hlediska ochrany je třeba táhla buď opatřit nátěrem nebo otorkretovat. V případě použití torkretu odpadá údržba táhel proti mechanickému poškození, částečně se eliminují i teplotní vlivy a zlepší se i vzhled konstrukce.

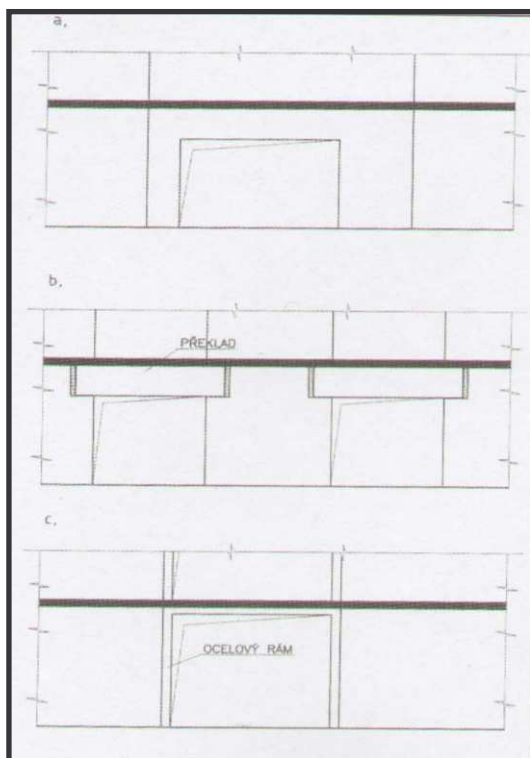
❖ Speciální případy

Jedná se o kombinaci výše popsaných způsobů zesílení konstrukce.

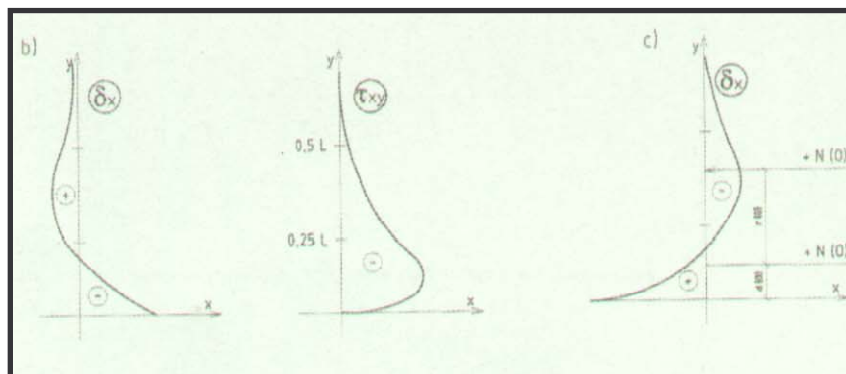
3. Příklady zesilovaných konstrukcí

3.1 Dům s pečovatelskou službou

Uvádím příklad návrhu provedení změny dispozice. Jedná se o panelový objekt systému VVU-ETA, jenž má 9 nadzemních podlaží a jedno monolitické podzemní podlaží. Záměrem investora bylo provedení změn dispozice v prostoru vstupního patra, která umožnila prosvětlení chodby, dále sejmutí stávajících markýz nad současnými vstupy do objektu, vybudování nového vstupu s bezbariérovým přístupem pro vozíčkáře a záměnu stávající rampy za novou. Statické řešení obsahovalo výpočet konstrukce v současném stavu a po provedení navrhovaných otvorů. Výpočet vnitřních sil byl proveden programem FEAT 2000. Na základě stanovených tahových sil ve stěnách a nadpražích nad projektovanými otvory byly navrženy různé způsoby zesílení nadpraží otvoru, rozbořem dané problematiky byl zvolen způsob zesílení pomocí ploché páskové výztuže.



Obr. 13 Pohled na možné přístupy k řešení nadpraží, a) chování konstrukce jako stěny s otvorem, b) vytvoření překladu ze zbytkového nadpraží, c) veškerá vnitřní síly přenáší nová konstrukce tvořená ocelovým rámem.



Obr. 14 Rozdělení napětí v nadpraží po provedení otvoru ve stěně.

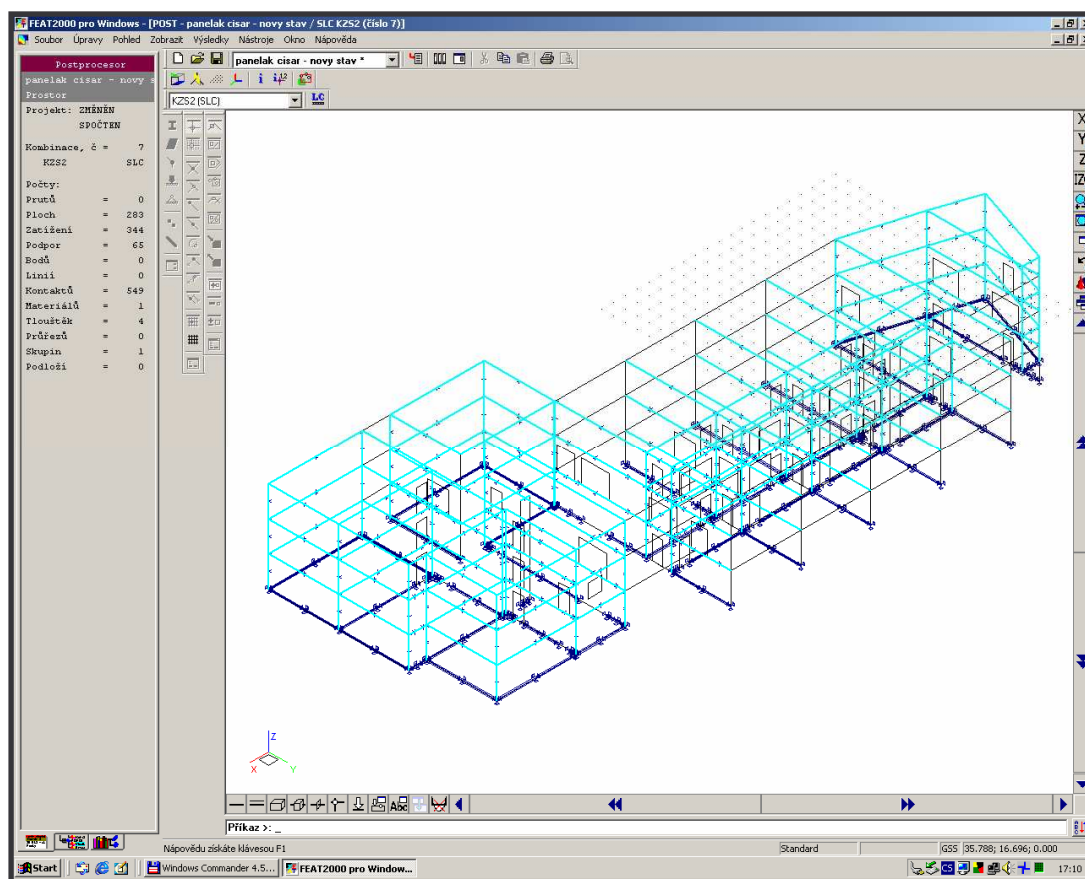


Obr. 15 Pohled na zesílení nadpraží pomocí vloženého ocelového rámu.

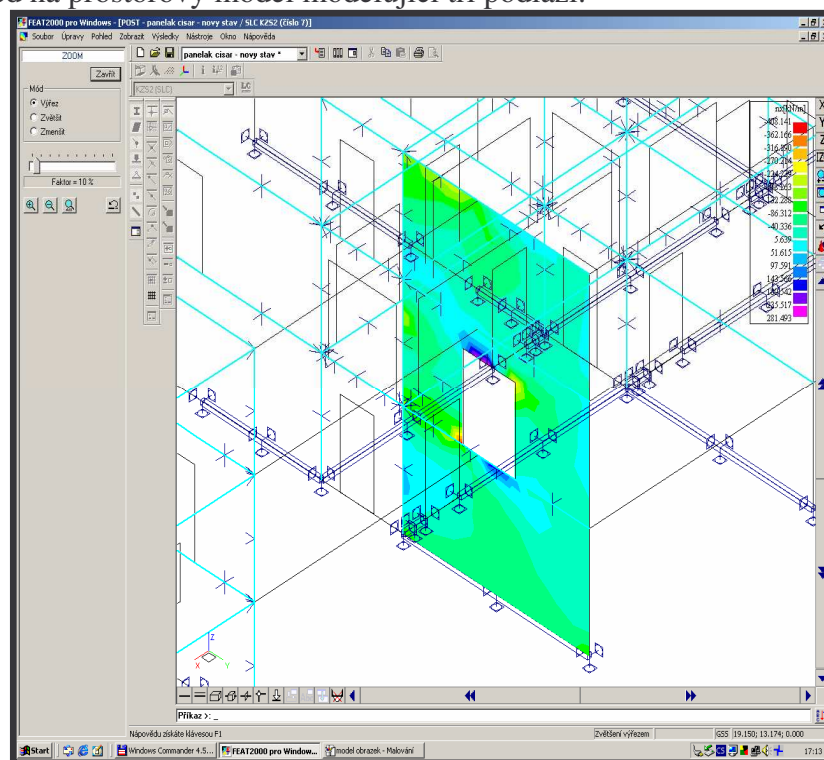


Obr. 16 Pohled na vyříznutý otvor v příčné nosné stěně se zesíleným nadpražím pomocí FRP výztuže, která je modernější alternativou pro plochou ocel, kterou je nutno mechanicky kotvit.

Pro každý otvor bylo navrženo zesílení zvlášť. Výpočet byl prováděn za respektování vlivu vodorovných i svislých styků, které byly modelovány jako stěny s oslabenou tloušťkou. Toto řešení vychází ze studie provedené [1, 2]. Provedená studie potvrdila možnost aplikování lineárního výpočtu, neboť vykazala dostatečnou shodu výsledků s nelineárním řešením. Vliv styků byl v lineárních výpočtech modelován oslabením prvku v jejich místě (pro svislé styky asi 90-95%, pro vodorovné styky cca 50-60%). Širší uplatnění nelineárních postupů v projektové praxi lze doporučit vzhledem k neúměrným časovým nárokům a nepodstatným rozdílům ve výsledcích pouze pro řešení speciálních detailů (např. k modelování zatěžovací zkoušky styků apod.).



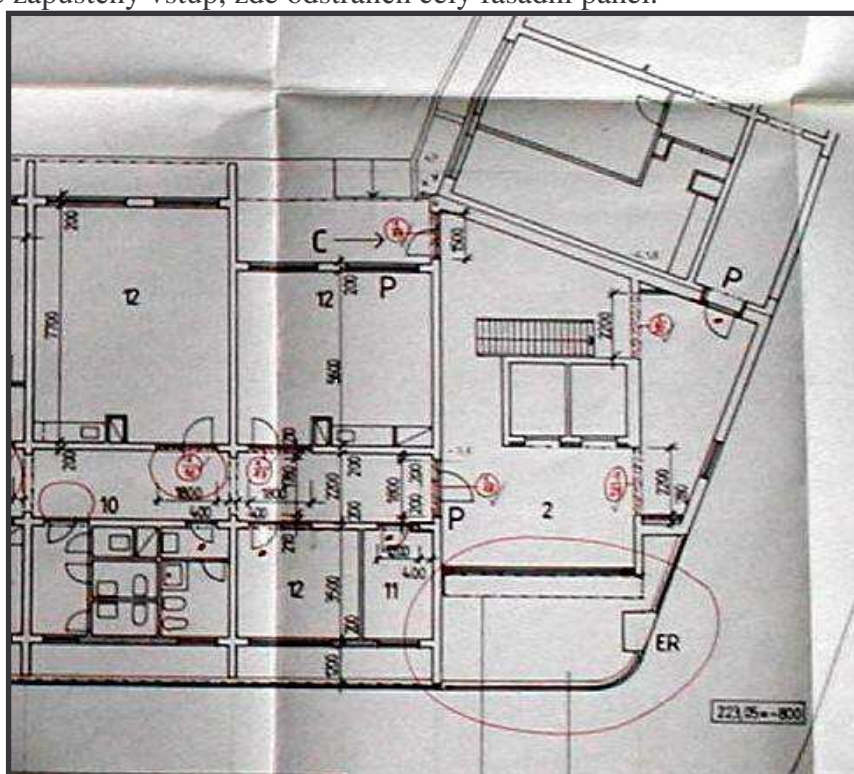
Obr. 14. Pohled na prostorový model modelující tři podlaží.



Obr. 15. Detail jedné stěny, zobrazeny izolinie napětí v nadpraží, ze který byla později stanovena tahová síla pro návrh nutné plochy zesilující ploché výztuže.



Obr. 16 a 17 Zobrazují pohled na nově provedený bezbariérový vstup do objektu, tj. rampu pro vozíčkáře zapuštěný vstup, zde odstraněn celý fasádní panel.



Obr. 18 Půdorys objektu se zakreslenými požadovanými úpravami, tj. zvětšení otvoru, odstranění části nebo celé dělicí či fasádní stěny apod.

Pro každou plochou výztuž bylo nutno navrhnout a posoudit množství chemických kotev.

3.1.1 Posouzení přenosu síly ze zesilující výztuže do betonu

posouzení :

$$N_s = 1,5Q = 1,5 \cdot 32,8 = 49,2 \text{ kN} \quad (1)$$

$$\text{únosnost 1 šroubu na střih : } N_1 = 26,14 \text{ kN} \quad (2)$$

$$N_{str} = 2.3 \cdot N_1 = 2 \cdot 26,14 = 52,28 \text{ kN} \geq N_s = 49,2 \text{ kN} \quad (3)$$

$$\text{únosnost 1 šroubu v otláčení : } N_1 = 32,25 \text{ kN} \quad (4)$$

a / ocel - ocel

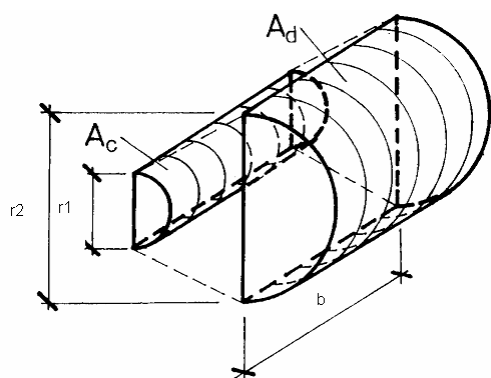
$$N_{oo} = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot 32,25 = 64,5 \text{ kN} \geq N_s = 49,2 \text{ kN} \quad (5)$$

b/ ocel - beton

$$N_s = 0,0492 \text{ MN} \leq N = \chi_c \omega_{bc} A_c \gamma_b R_{bd} = 0,75 \cdot 1,73 \cdot 3 \cdot 0,00226 \cdot 1,8,5 = 0,0749 \text{ MN} \geq N_s = 0,0492 \text{ MN} \quad (6)$$

$$\omega_{bc} = \sqrt{\frac{A_{d1}}{A_{c1}}} = \sqrt{\frac{0,12 \cdot 0,09}{0,03 \cdot 0,12}} = 1,73 \quad (7)$$

Obrázek vysvětlující jednotlivé rozměry uvažované pro výpočet kotevní síly.



3.1.2 Realizace zesílení nadpraží dveřních a okenní otvorů



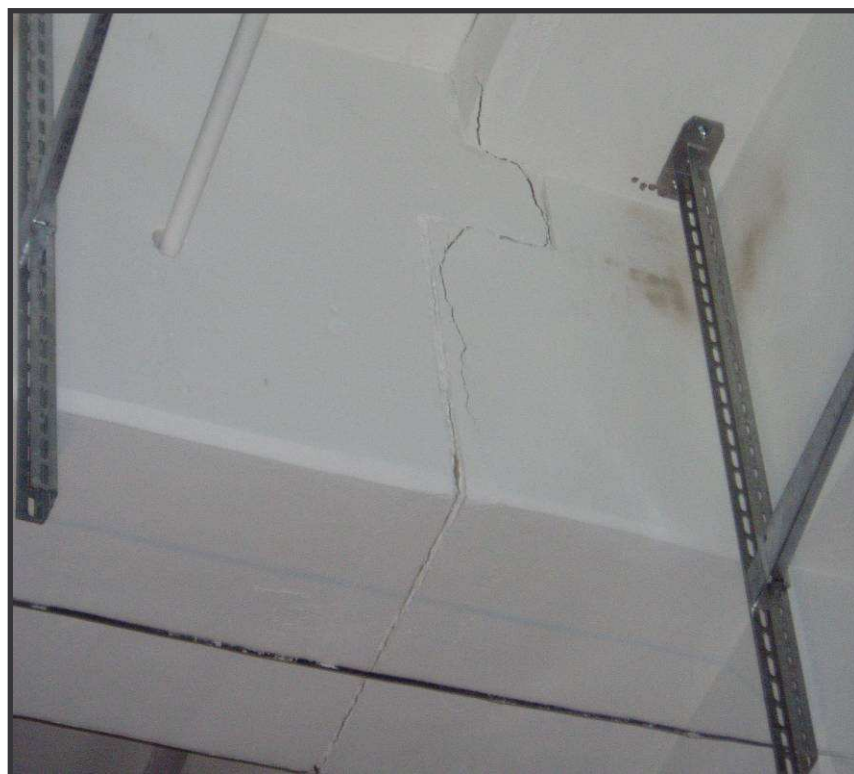
Obr. 19 Pohled na instalovanou plochou ocel ukotvenou chemickými kotvami a opatřenou základním nátěrem, následně bylo provedeno její zakrytí sádkartonovým protipožárním obkladem.



Obr. 20 a 21 Zobrazuje konečné řešení prostoru po provedení nových otvorů v dělicích nosných stěnách.

3.2 Sanace dilatační spáry u obchodního centra

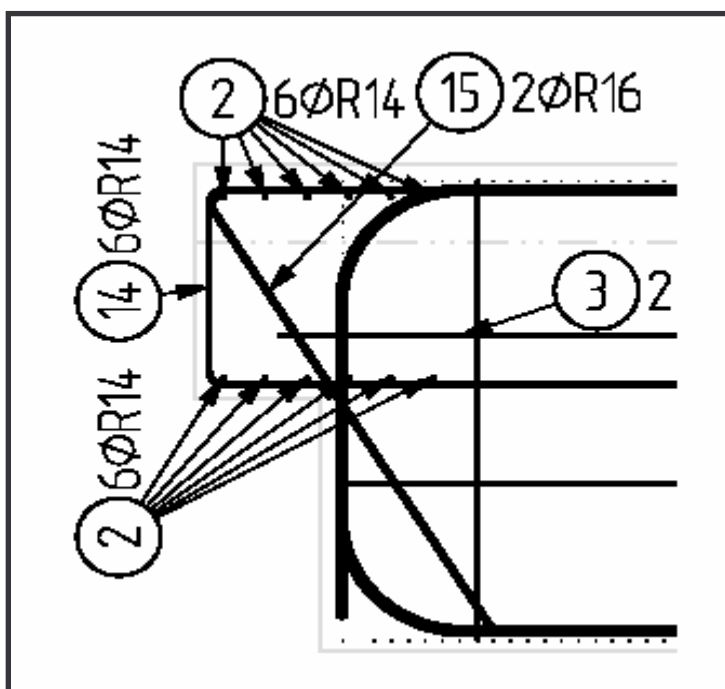
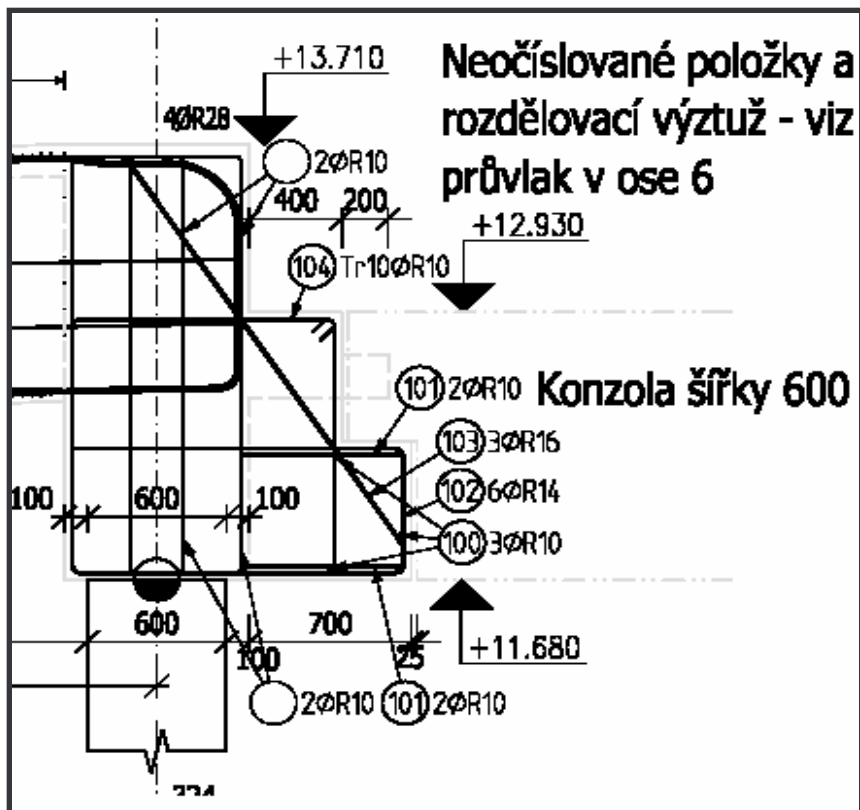
Před zahájením provozu v obchodním domě se objevili na konstrukci smykové trhliny v místě dilatační spáry na průvlacích, resp. na krátkých konzolách které vytvářeli dilatační spáru.



Obr. 22 Pohled na poškozené krátké konzoly vytvářející dilatační spáru s trhlinami, porucha způsobena špatnou funkcí ložiska, přetížením a nedostatečným vyztužením prvku.

Byl proveden rozbor projektové dokumentace a bylo zjištěno, že došlo k záměně třmínků za rovné pruty při projektování dilatačního průvlatu. Další příčinou bylo i nevhodné provedení styku, kdy stavba neosadila správně ložiska do styčné spáry. Kombinace těchto vlivů vedla ke vzniku trhlin v konstrukci.

Pro sanaci dilatační spáry byly zvoleny ocelové krakorce, které převzaly plné zatížení v místě dilatace, v prostoru skladu, kde nebylo nutno zachovat volnou dispozici u sloupu byla navržena šikmá ocelová vzpěra.



Obr. 23 a 24 zobrazuje vyztužení krátkých konzol tvořících dilataci stropní konstrukce v místě prutových prvků, položky označené „2“ měly být více střižné třmínky ve skutečnosti se jednalo pouze o rovné pruty.



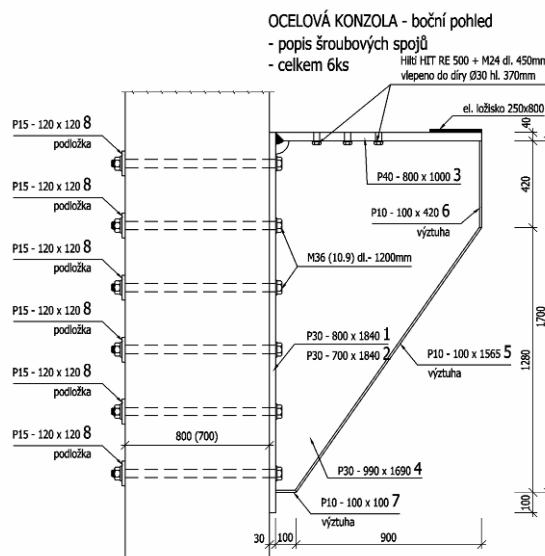
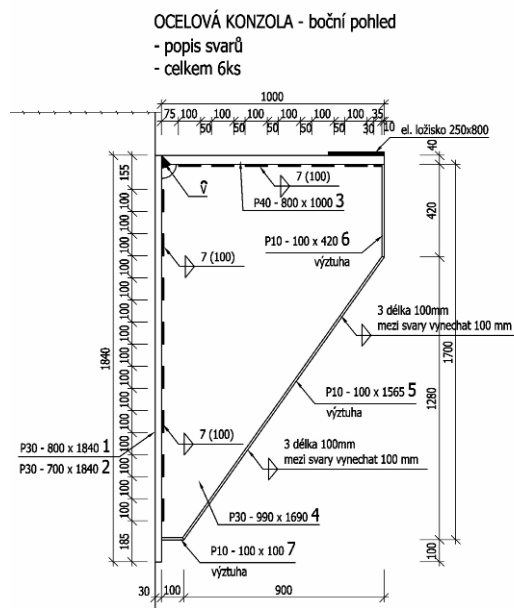
Obr. 25 a 26 Zobrazuje navržené podepření konstrukce, v místě skladů šikmou vzpěrou v obchodních prostorech pak pomocí ocelového krakorce. Ocelová konstrukce byla dodatečně opatřena obkladem z protipožárních sádkartonových desek.

3.2.1 Návrh zesílení pomocí ocelového krakorce :

Při návrhu podepření bylo třeba zajisti dodržení jak momentové tak i silové podmínky, zároveň bylo nutno sílu z krátké konzoly přenést do původního sloupu, pro přenos sil byl navržen třecí šroubový spoj.



Obr. 27 a 28 Ukazují postup provádění krátké konzoly, kdy bylo nutno rozměřit a následně vyvrtat do 18 otvorů pro kotevní šrouby a následně pomocí vysokozdvizného vozíku osadit ocelový krakorec o hmotnosti cca 1,4 tun.



Obr. 29 a 30 Detail řešení ocelového krakorce.

3.3 Zesílení stropní konstrukce v areálu DDL Lukavec

Vzhledem k poškození spodní výztuže při požáru, teplota cca 500 °C bylo nutno přistoupit k sanaci stropní desky, současně s opravou bylo třeba i zajistit navýšení užitého zatížení z původní hodnoty 40 kN/m² na nově požadovanou hodnotu 45 kN/m². Při rekonstrukci stropní desky nebylo možno použít její nabetonování, neboť musel být zachován provoz v objektu.

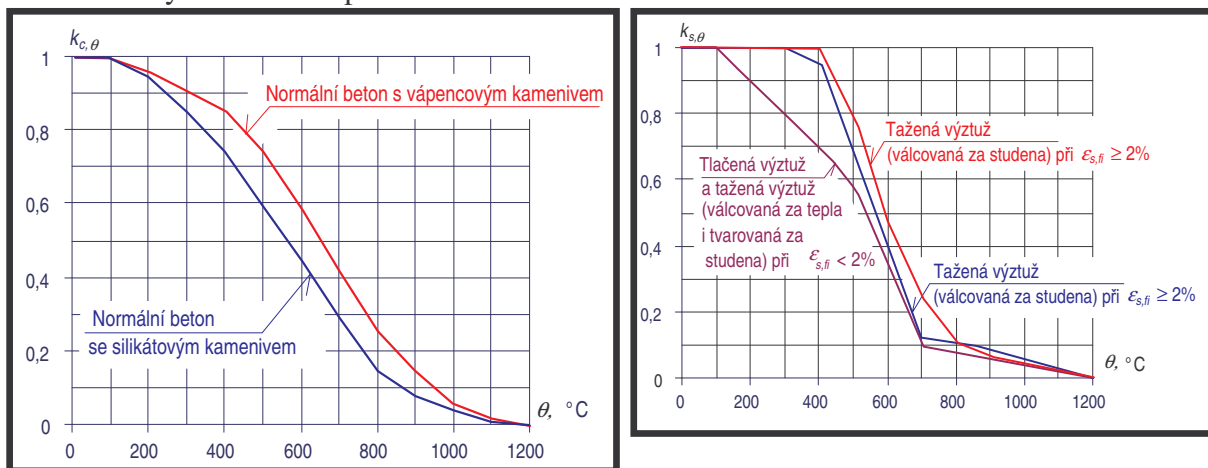


Obr. 31 Pohled do prostoru skladovací haly, stropní deska má být zesílena při zachování původní podlahy a za podmínky omezeného provozu, tj. dočasného neskladování materiálu.



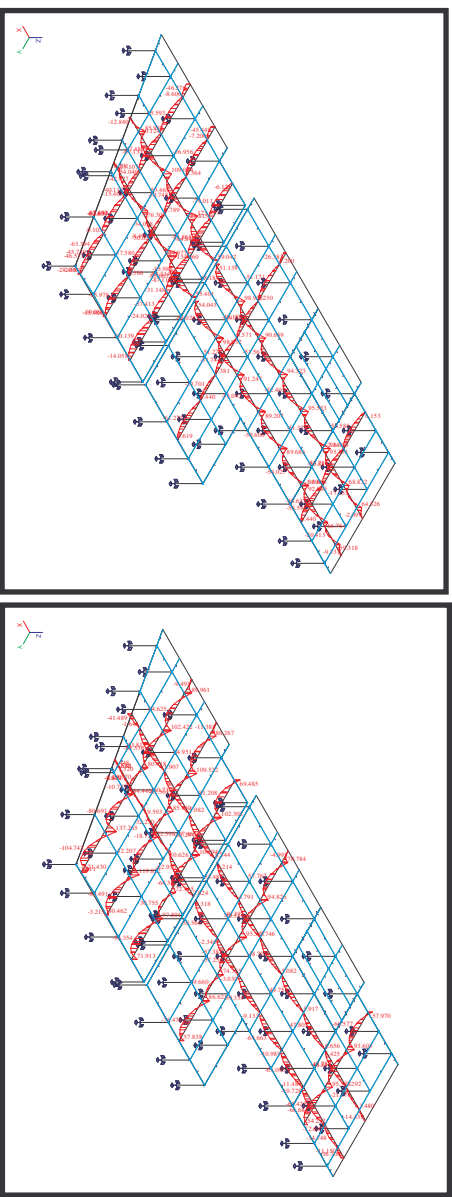
Obr. 32 a 33 Pohled na spodní líc desky, který byl jediný volný pro možné umístění zesilující konstrukce, investor neumožnil změnu dispozice v přízemí, použití nových např. ocelových podpůrných sloupů a trámů.

Statické řešení obsahovalo výpočet konstrukce v současném stavu a po provedení navrhovaného přetížení. Výpočet vnitřních sil byl proveden programem FEAT 2000. Na základě stanovených tahových sil ve stropních deskách a průvlacích byly navrženy různé způsoby zesílení stropní desky, výpočet prokázal, že průvlaky není nutno zesilovat, že mají rezervu pro přetížení, rozбором dané problematiky byl zvolen způsob zesílení pomocí FRP výztuže nebo ploché páskové výztuže bez nutnosti zvyšování tloušťky desky pomocí torkretáže. Na základě kalkulace ceny, která zahrnovala porovnání obou navržených variant si zhotovitel vybral zesílení pomocí FRP lamel.



Graf. 1 a 2 zobrazuje závislost poklesu pevnosti betonu a výztuže při zvyšující se teplotě konstrukce např. při požáru. Pokles pevnosti betonu při cca 500°C o 20 % a výztuže o 20 až 40 % podle druhu výztuže.

Při využití rezerv v konstrukci bylo nutno původní stropní desku zesílit o cca 15%, tj. z momentu únosnosti odpovídajícího cca 100 kNm/bm na 115 kNm/bm, kdy materiálové charakteristiky dosazované do výpočtu odpovídali betonu min. pevnosti C 16/20, původní beton dle dochované dokumentace byl třídy C 25/30 a uvažovaná výztuž byla 10425 (V) místo v projektu použité výztuži 10505 (R). Pokles uvažované pevnosti betonu z 20 MPa na 13,3 MPa a výztuže z 500 MPa na 425 MPa.



Obr. 34 a 35 Přiběh dimenzačních momentů pro původní a nové zatížení v rozhodujících řezech desky.

Ukázka posouzení jednoho průřezu stropní desky v programu pro zesilování pomocí FRP výztuže, jehož je autor technickým konzultantem. Vynechány listy se zadáním průřezu a materiálů, tj. geometrie průřezu, druhu betonu a výztuže, jejich ploch a umístění v průřezu i vlastního druhu FRP výztuže.

Návrh

Přetvoření ULS

Přetvoření SLS

Kotvení

Smyk

Průřez lamel

Počet: 1

Průřez: 50/1.4

w = 50 [mm]

t = 1.4 [mm]

$A_{t,poz} = 0.4 \text{ [cm}^2\text{]}$

$A_{t,pöv} = 0.7 \text{ [cm}^2\text{]}$

Únosnost

$M_{Rd0} = 101.2 \text{ [kNm]}$

$\gamma = M_{Sdf} / M_{Rd0} = 1.09 \text{ [-]}$

$\theta = M_{Rd0} / M_{Skr} = 1.2 \text{ [-]}$

$M_{Rdf} > M_{Sdf}$

$M_{Rdf} = 115.4 \text{ [kNm]}$

Posudek zesílení desky

Návrh

Přetvoření ULS

Přetvoření SLS

Kotvení

Smyk

Počáteční stav

ϵ_c

ϵ_{s2}

$\epsilon_c = -0.09 \text{ [o/oo]}$

$\epsilon_{s2} = \text{[o/oo]}$

$\epsilon_{s11} = \text{[o/oo]}$

$\epsilon_{s10} = 0.16 \text{ [o/oo]}$

Zesílený stav

ϵ_c

ϵ_{s2}

$\epsilon_c = -3.494 \text{ [o/oo]}$

$\epsilon_{s2} = \text{[o/oo]}$

$\epsilon_{s11} = \text{[o/oo]}$

$\epsilon_{s10} = 7.206 \text{ [o/oo]}$

$\epsilon_f = 7.5 \text{ [o/oo]}$

Přetvoření průřezu

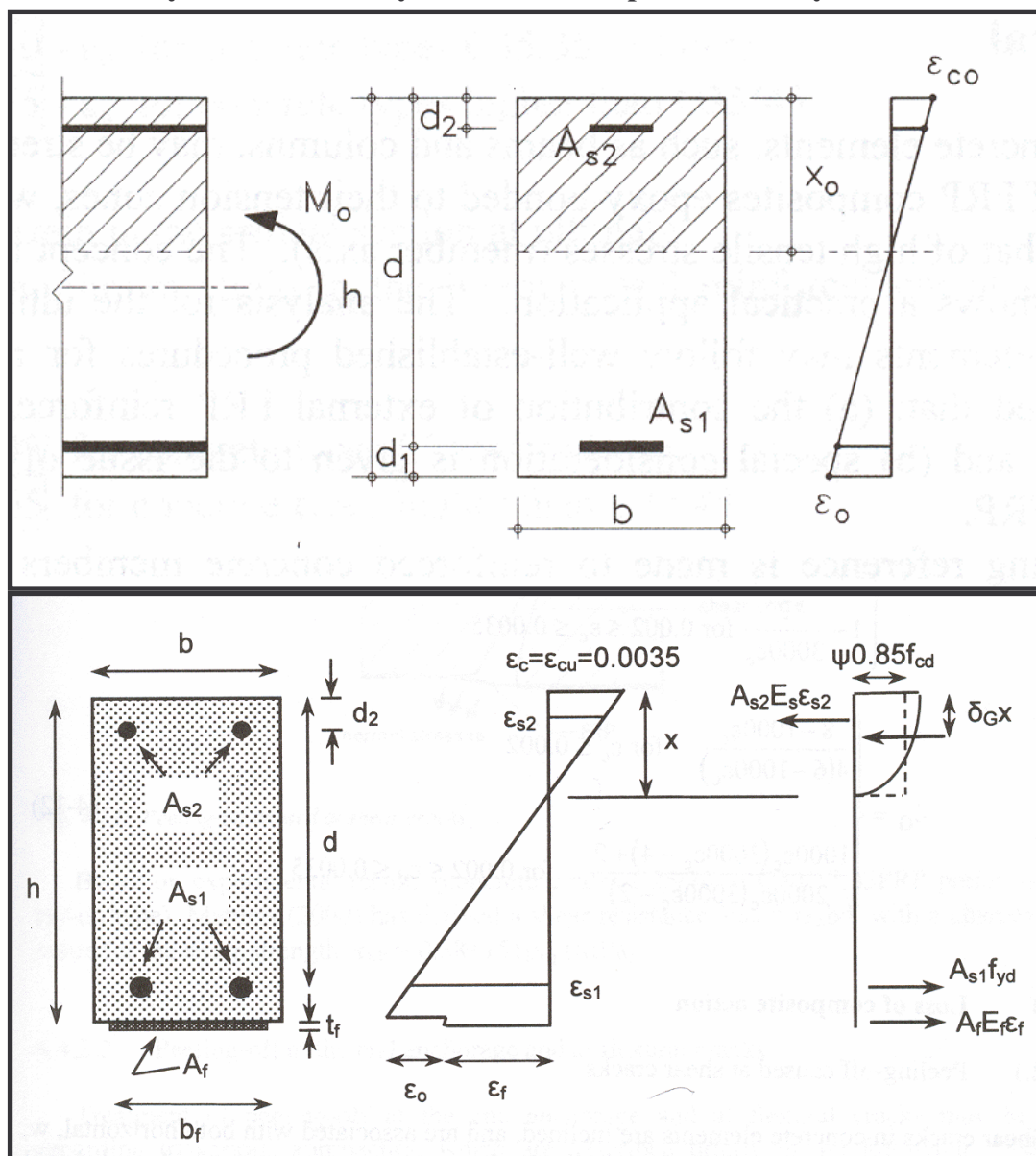
Návrh	Přetvoření ULS	Přetvoření SLS	Kotvení	Smyk
Přetvoření				
		$\varepsilon_c = -0,994$ [o/oo] $\varepsilon_{s2} =$ [o/oo] $\varepsilon_{s11} =$ [o/oo] $\varepsilon_{s10} = 1,574$ [o/oo] $\varepsilon_f = 1,514$ [o/oo]		
Napětí				
		$\sigma_c = -10,16$ [N/mm²] $\sigma_{s2} =$ [N/mm²] $\sigma_{s11} =$ [N/mm²] $\sigma_{s10} = 314,7$ [N/mm²] $\sigma_f = 248,2$ [N/mm²]		

Napětí v jednotlivých materiálech, beton, ocel FRP lamela.

Projekt	Geometrie	Výztuž	Ocel	Beton	CFK lamely	Zatížení	Kotvení	Smyk																																			
Podpory ☒ Koncová podpora $a_i = 20$ [cm] ☐ Vnitřní podpora $f = 30$ [cm]						Pevnost podkladu v odtrhu $f_{ctm} = 1,5$ [N/mm²]																																					
Bod E $x_E = 102,25$ [cm] $M_{sdf,E} = 80$ [kNm]						$A_{s10} = 15,4$ [cm²] $A_{s11} =$ [cm²] $A_{s2} =$ [cm²]																																					
← calc →																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Návrh</th> <th>Přetvoření ULS</th> <th>Přetvoření SLS</th> <th>Kotvení</th> <th>Smyk</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">Kotevní síly</td> </tr> <tr> <td colspan="5"> $F_{bd} = 16,72$ [kN] $F_{fd,E} = 15,96$ [kN] $a_L = 23,5$ [cm] </td> </tr> <tr> <td colspan="5">Kotevní délka</td> </tr> <tr> <td colspan="5"> $l_{bd} = 28,75$ [cm] </td> </tr> <tr> <td colspan="5"> dle Schválení: $\max f = 5$ [cm] </td> </tr> <tr> <td colspan="5"> $F_{bd} > F_{fd,E}$ Ukotvení OK! </td> </tr> </tbody> </table>									Návrh	Přetvoření ULS	Přetvoření SLS	Kotvení	Smyk	Kotevní síly					$F_{bd} = 16,72$ [kN] $F_{fd,E} = 15,96$ [kN] $a_L = 23,5$ [cm]					Kotevní délka					$l_{bd} = 28,75$ [cm]					dle Schválení: $\max f = 5$ [cm]					$F_{bd} > F_{fd,E}$ Ukotvení OK!				
Návrh	Přetvoření ULS	Přetvoření SLS	Kotvení	Smyk																																							
Kotevní síly																																											
$F_{bd} = 16,72$ [kN] $F_{fd,E} = 15,96$ [kN] $a_L = 23,5$ [cm]																																											
Kotevní délka																																											
$l_{bd} = 28,75$ [cm]																																											
dle Schválení: $\max f = 5$ [cm]																																											
$F_{bd} > F_{fd,E}$ Ukotvení OK!																																											

Posudek ukotvení lamely k desce a velikost přenesené síly do zesilující lamely.

3.3.1 Vysvětlení metodiky návrhu zesílení pomocí FRP výztuže



Výpočet založen na teorii pružnosti, použit charakteristický moment M_o (nejsou použity součinitele spolehlivosti) musí být rozložení napětí založeno na tomto předpokladu. Jelikož M_o je typicky větší než moment při němž vznikají trhliny M_{cr} je výpočet proveden v oblasti trhlín. Jestliže M_o je menší než M_{cr} , vliv trhlín na zesilovanou konstrukci lze zanedbat.

Přetvoření ϵ_o odpovídá počátečnímu přetvoření průřezu v místě, kde je umístěn FRP materiál, a které je potřeba pro návrh zesilovaného prvku uvažovat.

Návrhový ohybový moment zesilovaného průřezu je vypočten na základě metody mezních přetvoření. Iteračním postupem se stanoví rovnováha sil a určí poloha neutrální osy x .

Poloha neutrální osy je počítána z poměrných přetvoření průřezu a z vnitřní silové rovnováhy. Návrhový moment je spočten z momentové rovnováhy. Návrh by měl brát v úvahu, že zesilovaná konstrukce při montáži nemůže být plně odtížena, tudíž by mělo být uvažováno počáteční přetvoření ϵ_o v nejvzdálenějších tažených vláknech vypočtené na průřezu před zesilováním, odpovídající zatížení konstrukce v době montáže a schématu jejího případného podepření (odlehčení).

Zesilující moment je pak závislý na skutečné síle přenesené přes kotevní oblast do zesilující FRP výztuže.



Obr. 36 a 37 zobrazuje stav desky před a po rekonstrukci, která zahrnovala jak vlastní sanaci spodního líce desky tak i jeho zesílení pomocí FRP lamel, rastr lamel je patrný z obrázku vpravo.

Spodní líc stropní konstrukce před zesílením, výrazná koroze výztuže a povrchová degradace betonu. Stropní deska zesílená FRP lamelami, deska i trámy reprofilovány sanačními hmotami, obnoveno pasivní prostředí pro betonářskou výztuž a do jak desky tak i průvlaků.

3.4 Další příklady zesílení konstrukcí

3.4.1 Příklad zesílení cihelného pilíře objímkou z ocelových L profilů a pásků z ploché oceli



Obr. 38 Pohled na ocelovou objímku zesilující cihelný pilíř, objímka je tvořená válcovaným L profily a pásky aktivovanými pomocí elektrohřevu.

Tento způsob zesílení je nejpoužívanější pro zesílení cihelného, kamenného nebo smíšeného zdiva pilířů narušených trhlinami převážně vertikálního charakteru. Zesilovaný pilíř zabavíme omítky a dobře očištěný bandážujeme ocelovou kostrou z úhelníků, které osadíme na rohy pilíře do cementové malty a navzájem je spojíme vodorovnými spojkami. Ocelovou kostru následně opatříme rabinovým pletivem, trhlinky v pilíři vyinjektujeme a povrch pilíře otorkretujeme nebo opatříme kvalitní cementovou maltou.

Návrh zesílení je proveden tak, že u značně poškozených pilířů objímka přenáší veškeré zatížení, kostru navrhujeme dle zásad pro návrh členěného ocelového prutu, nebo část zatížení přenáší vypravený pilíř a část objímka.

Únosnost zesíleného pilíře pak stanovíme podle vzorce :

$$N_{sd} \leq \gamma_u \cdot \psi \cdot \varphi \cdot k_d \cdot \left[\left(\gamma_k \cdot R + \delta \cdot \frac{2,5 \cdot \mu}{1 + 2,5 \mu} \cdot \frac{R_{aq}}{100} \right) \cdot A_k + R_a \cdot A_a \right] \quad (8)$$

kde N_{sd} je výpočtová síla od zatížení působící na pilíř

γ_u součinitel podmínek působení

Při centrickém tlaku $\psi = 1,0$ a $\delta = 1,0$.

Při mimostředním tlaku se určí ψ z ČSN 73 1101, $\delta = 1 - \frac{4 \cdot e}{h}$

A_k plocha zesilovaného pilíře

A_a průřezová plocha zesilujících úhelníků

e výstřednost normálového zatížení

R výpočtové namáhání zdiva dle ČSN 73 1101

R_a výpočtové namáhání tuhé výztuže

R_{aq} výpočtové namáhání příčné výztuže (pásků)

φ součinitel vzpěrnosti dle ČSN 73 1101

γ_k součinitel podmínek působení zdiva

$\gamma_k = 1$ (neporušené zdivo) $\gamma_k = 0,7$ (zdivo s trhlinami)

μ procento vyztužení příčnými pásky

k_d součinitel vlivu dlouhodobého působení zatížení stanovený dle ČSN 73 1101

3.4.2 Příklad zesílení stropní desky na horním líci plochou ocelí



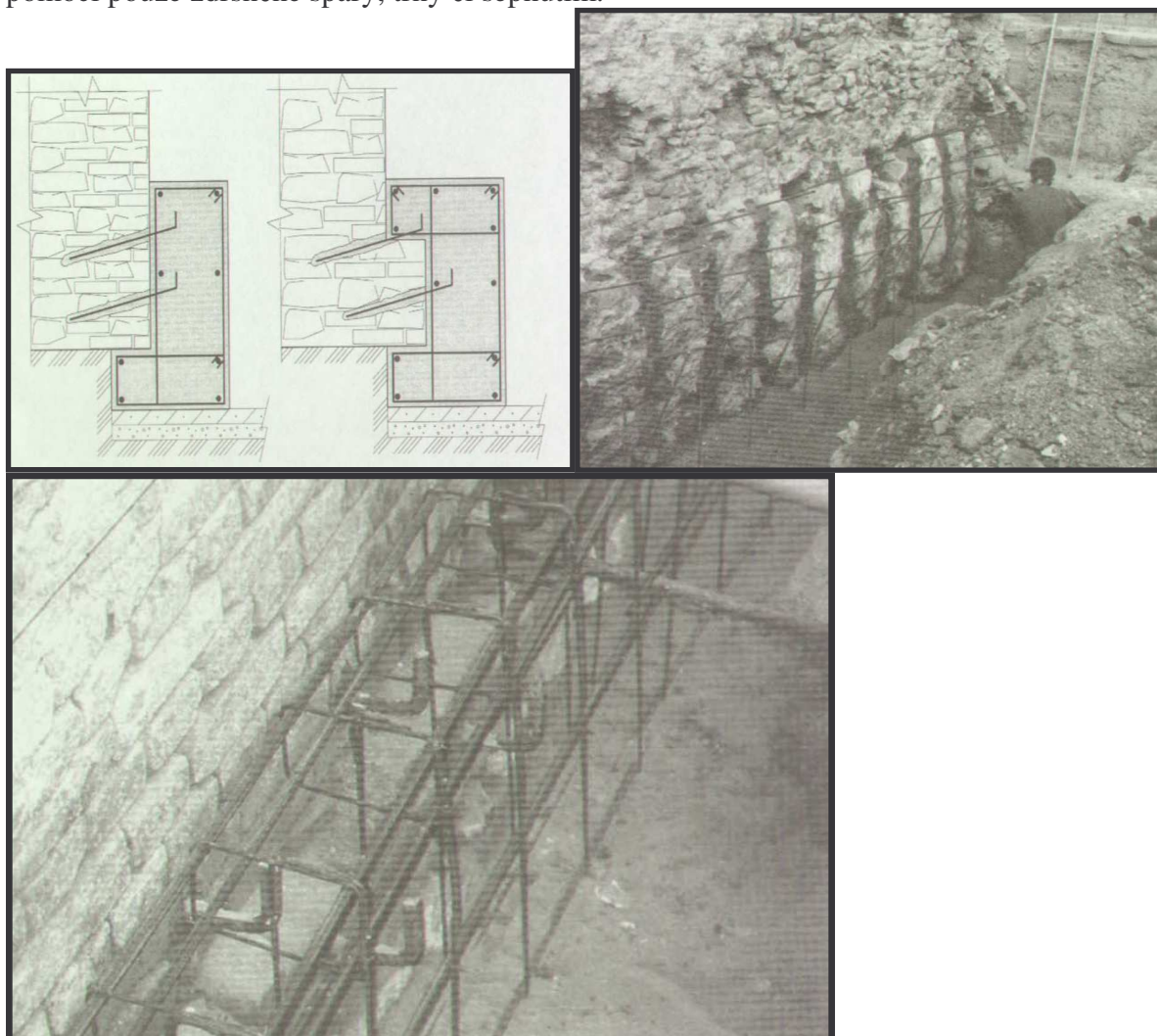
Obr. 39 Zesílení stropní desky plochou ocelí, jednalo se o náhradu neuložené výztuže při provádění stropní desky.

Z možných variant řešení sanace stropní desky byla vzhledem k nejnižší ceně zvolena varianta dodatečného doplnění chybějící výztuže jejím přilepením na horní líc stropní desky.

3.4.3 Zesilování základů

S problémy rekonstrukce a zesilování základů se setkáváme velmi často, jedná se o problematiku obtížnou a rozsáhlou. Mezi nejčastější problémy patří zvětšení únosnosti základové půdy nebo rozšíření či podchycení základů. Nejsou-li vzdálenosti mezi pasy příliš velké a je-li mezi nimi volný prostor, můžeme navrhnout zesílení zvětšením základové konstrukce, využijeme zeminu mezi původními základy. Jedná se o vytvoření železobetonové skořepiny mezi základové pasy, nebo železobetonové klenby, případně celé železobetonové desky propojující původní základové pasy.

Pokud je vzdálenost mezi pasy velká je nutno zesilovat vlastní pas a to buď jeho rozšířením nebo podchycením pomocí mikropilot či dodatečným podbetonováním či podezděním, které je podporováno únosnější zeminou, která se nachází ve větší hloubce. Při přibetonování základů k původním je třeba řešit problematiku přenosu sil přes styk starého a nového betonu, pomocí pouze zdrsňené spáry, trny či sepnutím.



Obr. 40 až 42 Zachycují výkres výztuže zesilujících pasů a následnou realizaci vázání navržené výztuže před betonáží zesilujících jednostranných pasů.

4 Závěr

- Konstrukce se zesilují z důvodu vyčerpání jejich únosnosti stářím
- Únavy materiálů
- Degradace materiálů (koroze výztuže, alkalický rozpad betonu ...)
- Změna užívání, zvýšení zatížení (kancelář x sklad, obchod, ..)
- Chyby projektu nebo při provádění konstrukce
- Porucha konstrukce (výbuch, požár, ..)
- Změna dispozice (otvory v konstrukci, stěna, deska)

4.1 Nejčastěji používané způsoby zesílení :

- Stropní desky :
 - Jednostranné zvětšení tloušťky
 - Zvětšení plochy tahové výztuže
 - Dodatečná podpora
- Stropní trámy :
 - Obetonování (torkret + přídavná tahová a smyková výztuž)
 - Zvětšení plochy tahové výztuže
 - Dodatečná podpora (pevná podpora, pružná podpora, předpětím)
- Stěna, Sloup :
 - Zvětšení rozměrů, (šířka stěny, oba rozměry u sloupu)
 - Ocelová, betonová objímka
- Základy :
 - Zvětšení šířky základu přibetonováním
 - Podepření základů mikropilotami
 - Úprava základové půdy injektáží

Literatura :

- [1] Zácha, P.: Rekonstrukce panelových budov – statické úpravy, doktorská disertační práce, Praha 2000
- [2] Podolka, L., Zácha, P.: Rekonstrukce a revitalizace panelových budov, Stavební obzor 3/2001, str. 73-77
- [3] Horáček, E.: Panelové budovy – Navrhování a výpočet nosné konstrukce, SNTL 1977
- [4] Horáček, E., Vadim, I., Pume, D.: Únosnost a tuhost styků panelových konstrukcí, SNTL 1983
- [5] Witzany, J.: Konstrukce průmyslově vyráběných stavebních systémů pozemních staveb, ČVUT 1981
- [6] Witzany, J.: Navrhování svislých styků stěnových dílců panelových budov, Pozemní stavby 4-1976
- [7] Witzany, J.: Pracovní diagramy styků při opakovaném zatížení, Pozemní stavby 8-1982
- [8] Witzany, J.: Tuhost svislých styků stěnových dílců panelových budov, Pozemní stavby 9-1976
- [9] Witzany, J.: Vady, poruchy a rekonstrukce panelových domů, Stavební ročenka 1998
- [10] TP 73, 74 Zesilování betonových mostů externí lepenou výztuží a/nebo spřaženou železobetonovou deskou. Pokyny pro výpočet. Technické podmínky, 1995
- [11] ACI Committee 440. (2001). "Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars." ACI440.1 R-01, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- [12] ACI Committee 440. (2002). "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures." ACI440.2 R-02, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- [13] Fédération Internationale du Béton (FIB). (2001). "Externally bonded FRP reinforcement for RC structures." Bulletin 14, Lausanne, Switzerland.
- [14] Guide on the design of RC structures with FRP reinforcement (Institution of Structural Engineers in the United Kingdom)
- [15] ISIS CANADA, Strengthening Reinforced concrete structures with externally-bonded fibre reinforced polymers, (September 2001)
- [16] Předpis Deutsches Institut für Bautechnik, výpočet dle DIN V ENV 1992-1-1 :
- [17] ČSN P ENV 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [18] ČSN EN 12636 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení soudržnosti spoje betonu s betonem
- [19] ACI Concrete repair manual, Vol. 1 a 2, May 2003, ISBN 0-87031-105-0
- [20] ACI Manual of Concrete practice, Vol. 5 a 6, 2004, ISSN 0065-7875
- [21] ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách
- [22] ČSN ISO 13 832 (ČSN 73 0038) Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí
- [23] Vaněk, T. : Rekonstrukce staveb, SNTL 1985 Praha
- [24] ČSN P ENV 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

Životopis

Osobní údaje :

Dr. Ing. Luboš Podolka

Vzdělání :

Ing. : Červenec 1993, ČVUT Stavební fakulta, Praha

Dr. : Duben 1997, ČVUT Stavební fakulta, Praha

Profesionální praxe :

1996 – 3 měsíce úsekový stavbyvedoucí SSŽ, a.s. závod Liberec

1996-1997 odborný asistent CVUT v Praze, Fakulta stavební, K – 133

1997- základní vojenská služba

1998 - odborný asistent CVUT v Praze, Fakulta stavební, K – 133

1998 – samostatná projekční činnost

Přehled o zpracovaných projektech

vedení grantů :

1994 interní grant stavební fakulty (Rekonstrukce betonových a zděných staveb),

1995 interní grant ČVUT (Rekonstrukce betonových a zděných staveb),

1996 interní grant stavební fakulty (Rekonstrukce betonových a zděných staveb)

1998 - 2000 postdoktorandský grant GAČR (Chování a porušování konstrukcí zesílených pomocí CFK lamel),

2001 – 2003 postdoktorandský grant GAČR (Zesilování konstrukcí materiály na bázi uhlíku)

účast na grantech :

1994 interní grant stavební fakulty (Nové problémy v rekonstrukcích betonových a zděných staveb v posledním období),

1994 interní grant stavební fakulty (Sledování zesílení rekonstruovaných mostů),

1995 interní grant ČVUT (Teoretické základy a metody sledování rekonstrukcí mostů),

1996-2000 grant ministerstva dopravy (Výzkum ochrany a zvýšení únosnosti mostů)

1997-2000 grant ministerstva dopravy a spojů (Modelování malých mostů a stanovení jejich zatížitelnosti, Zpřesnění a úprava metodiky stanovení zatížitelnosti mostů pozemních komunikací)

2001 – 2004 grant ministerstva dopravy a spojů (Zatížení a zatížitelnost mostů pozemních komunikací v návaznosti na evropské normy)

2001 – 2004 grant ministerstva dopravy a spojů (Využití vláknových kompozitů k zesilování mostů)

účast na výzkumných záměrech :

1999-2004 Funkční způsobilost a optimalizace stavebních konstrukcí,

1999 Rozvoj algoritmů počítačové mechaniky a jejich aplikace v inženýrství

Znalost jazyků :

anglický jazyk, ruský jazyk