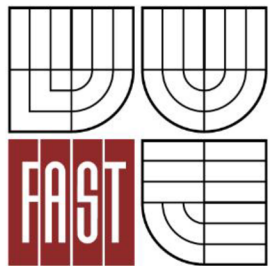




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

# OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI STŘEŠNÍ KONSTRUKCE PO PŘITÍŽENÍ FOTOVOLTAICKÝMI PANELE

RESISTANCE OF THE ROOF STRUCTURE LOADED WITH PHOTOVOLTAIC PANELS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

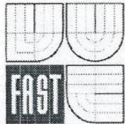
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN HOLOUBEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.**

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Bakalářský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Jan Holoubek

**Název** Ověření únosnosti střešní konstrukce po  
přetížení fotovoltaickými panely

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Jiří Strnad, Ph.D.

**Datum zadání  
bakalářské práce** 30. 11. 2011

**Datum odevzdání  
bakalářské práce** 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

.....  
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu



.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

### **Podklady a literatura**

Schémata zadaného objektu (dílčí půdorysy a řezy)

Platné normy z oboru betonových a zděných staveb, geotechniky atd.

Majdúch: Zásady vystužování betonových konstrukcí

Skripta, podklady a opory používané ve výuce na ÚBZK FAST VUT v Brně

Výpočetní programy pro PC

### **Zásady pro vypracování**

Statická analýza - přepočítání nosných prvků (výpočet provést vhodným výpočetním programem).

Kontrola výpočtu vybraných prvků zjednodušenou metodou.

Výkresová dokumentace geometrie a vyztužení stávající konstrukce.

Technická zpráva statické části.

Bakalářská práce bude odevzdána 1 x v listinné podobě a 2 x v elektronické podobě na CD s formální úpravou podle směrnice rektora č. 9/2007 (včetně dodatku č.1) a 2/2009 a směrnice děkana č. 12/2009.

### **Předepsané přílohy**

A) Textová část

Technická zpráva statiky, průvodní zpráva statickým výpočtem

B) Přílohy textové části

B1) Statický výpočet

B2) Výkresy tvaru nosné konstrukce

B3) Výkresy vyztuže

B4) Další konstrukce dle zadání vedoucího bakalářské práce

B5) Detaily dle zadání vedoucího bakalářské práce

Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo (3x)

Popisný soubor závěrečné práce

.....  
Ing. Jiří Strnad, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je ověření únosnosti střešní konstrukce po přitížení fotovoltaickými panely. Na střechu průmyslové haly obdélníkového půdorysu o rozměrech 26,5 x 24,5 m v Hlinsku se investor rozhodl dát fotovoltaické panely.

Předběžný diagnostický průzkum prokázal pouze ohybovou výztuž v poli u všech posuzovaných nosných prvků. Posuzovány na únosnost v ohybu byly tyto nosné prvky: ŽB deska, ŽB trám a ŽB průvlak. Statický výpočet obsahuje i minimální vyztužení nad podporou a nutnou smykovou výztuž, kterou je nutno prokázat podrobným diagnostickým průzkumem. Statický výpočet obsahuje i posudek na průhyb ŽB trámu po přitížení. Všechny posudky byly prováděny dle momentálně platných Eurokódů.

Výpočtem bylo prokázáno, že všechny nosné prvky vyhoví na únosnost v ohybu a průhyb trámu je menší než mezní hodnota uvedená v EC, tudíž střechu haly lze přitížit fotovoltaickými panely.

## **Klíčová slova**

Beton, železobeton, fotovoltaický panel, ohybová výztuž, smyková výztuž, deska, trám, průvlak, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, tuhost

## **Abstract**

The aim of the thesis is to verify the resistance of the roof structure loaded with photovoltaic panels. On the roof of industrial building of rectangular plan with dimensions of 26,5 x 24,5 m in Hlinsko, the investor decided to install photovoltaic panels.

Preliminary diagnostic survey showed only flexural reinforcement in the field of all considered load-bearing elements. Bending strength was assessed by these structural elements: reinforced concrete slab, reinforced concrete beam, reinforced concrete girder. Static calculation includes a minimum reinforcement of support and necessary shear reinforcement, which must be demonstrated by a detailed diagnostic survey. The structural analysis includes the assessment of reinforced concrete beam deflection after loading. All assessments were performed according to currently valid Eurocodes.

The calculation showed that all supporting elements meet the bending resistance and deflection of the beam is smaller than the limit value laid down in the EC, so the roof of the hall can be loaded with photovoltaic panels.

## **Keywords**

Concrete, reinforced concrete, photovoltaic panel, flexural reinforcement, shear reinforcement, slab, beam, girder, ultimate limit state design, serviceability limit state design, stiffness.

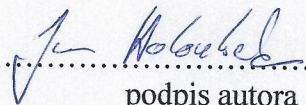
## **Bibliografická citace VŠKP**

HOLOUBEK, Jan. *Ověření únosnosti střešní konstrukce po přitížení fotovoltaickými panely*. Brno, 2011. 23 s., 74 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jiří Strnad, Ph.D..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 23.5.2012



.....  
podpis autora

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Děkuji vedoucímu práce Ing. Jiřímu Strnadovi, Ph.D. za svůj čas, odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl a které mi pomohly při zpracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Radimu Nečasovi, Ph.D. za rady při řešení průhybu.

## **OBSAH:**

ÚVOD

TECHNICKÁ ZPRÁVA

PRŮVODNÍ ZPRÁVA STATICKÝM VÝPOČTEM

ZÁVĚR

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

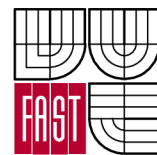
SEZNAM PŘÍLOH



## ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá ověřením únosnosti střešní konstrukce po přitížení fotovoltaickými panely. Střešní konstrukce náleží průmyslové hale v Hlinsku. Stavba byla postavena před padesáti lety a její životnost se odhaduje na dalších dvacet let. Jako zadání práce sloužily podklady z předběžného diagnostického průzkumu, avšak tyto podklady nejsou dostačující, proto statický výpočet uvádí, jaké další údaje je nutno zjistit a prokázat při detailnějším diagnostickém průzkumu. Práce posuzuje tyto následující nosné prvky: ŽB deska, ŽB trám a ŽB průvlak. U ŽB trámu je dále spočítán a posouzen průhyb od přitížení fotovoltaickými panely.

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



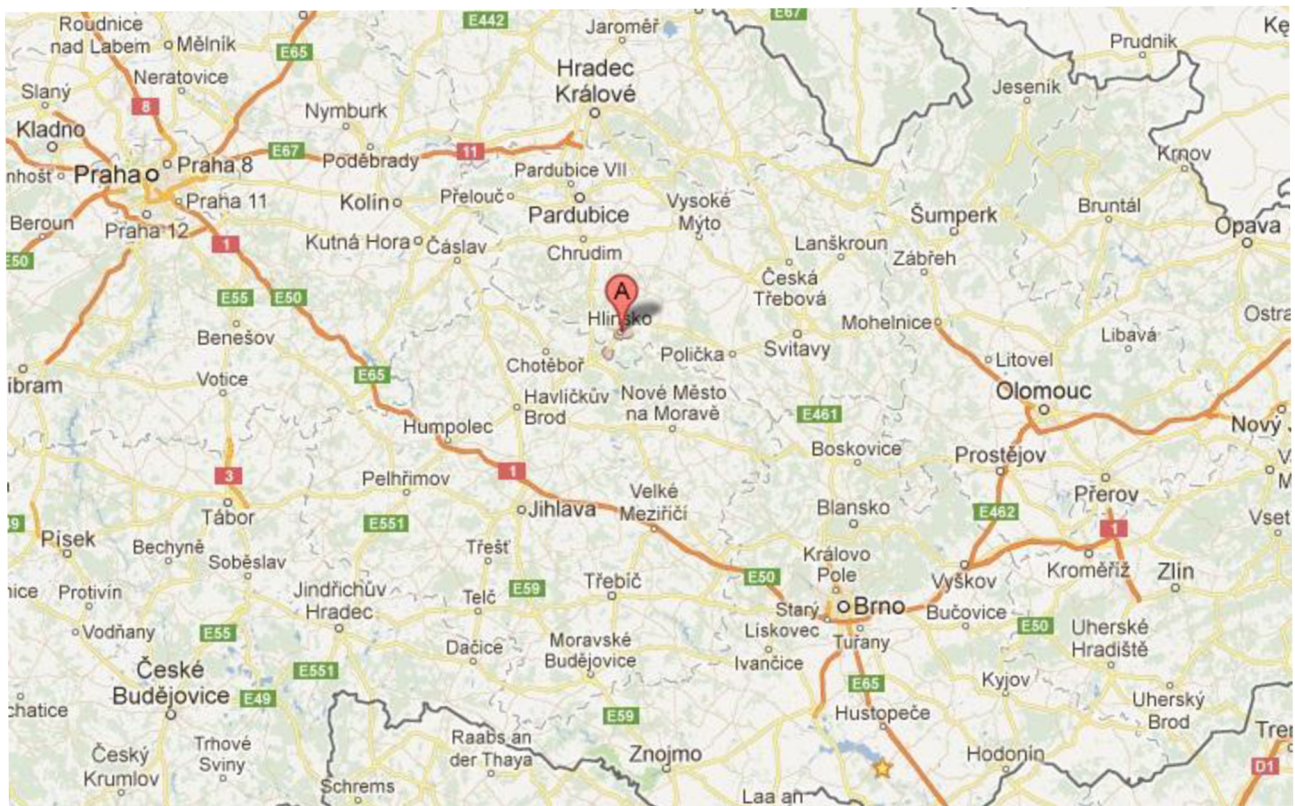
VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V BRNĚ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV BETONOVÝCH A  
ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ  
Veveří 331/95, 602 00 Brno

Vypracoval:	JAN HOLOUBEK	Datum:	<b>5/2012</b>
Vedoucí práce:	Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.	Formát:	<b>A4</b>
Akce:	<b>PRŮMYSLOVÁ HALA HLINSKO</b>	Měřítko:	-
Název přílohy:	<b>TECHNICKÁ ZPRÁVA</b>	Číslo přílohy:	Číslo výkresu:
		<b>A1</b>	-

# TECHNICKÁ ZPRÁVA KE STATICKÉMU VÝPOČTU

## OBSAH:

1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE.....	3
2. STATICKÉ PŮSOBNÍ.....	4
3. ZATÍŽENÍ.....	5
4. ZÁVĚR.....	7



obr.1 (poloha obce)



*obr.2 (ukázka fotovoltaiky)*



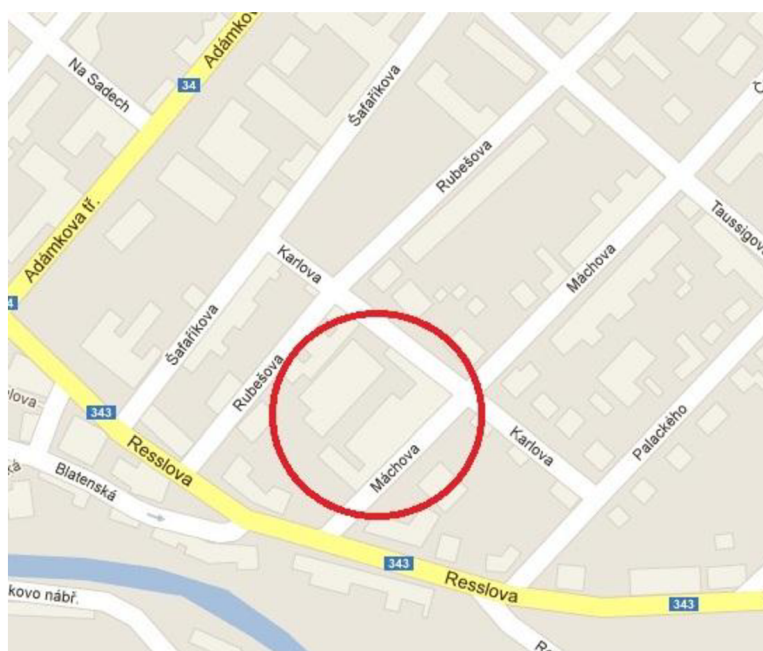
*obr.3 (ukázka fotovoltaiky)*



*obr.4 (ukázka fotovoltaiky)*



*obr.5 (ukázka fotovoltaiky)*



*obr.6 (poloha haly v obci)*

## 1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Cílem statického výpočtu bylo posoudit přetížení na střešní konstrukci fotovoltaickými panely na průmyslovou halu v obci Hlinsko. Posuzované prvky jsou – ŽB deska, ŽB trám a ŽB průvlak. Hala má obdélníkový půdorys a už je stará téměř 50 let. Životnost haly se předpokládá dalších 20 let.



obr.7 (poloha haly v obci)

Diagnostický průzkum během osobní prohlídky ukázal, že nosné prvky jsou z následujících materiálů:

DESKA D1 - BETON B15 (dle EN 1992-1-1 odpovídá betonu C12/15)  $f_{ck} = 12 \text{ Mpa}$   
- OCEL 10 370 -  $\varnothing 8$  á 200 mm –  $f_{yk} = 210 \text{ Mpa}$   
- krytí výztuže – 10 mm

TRÁM T1 - BETON B15 (dle EN 1992-1-1 odpovídá betonu C12/15)  $f_{ck} = 12 \text{ Mpa}$   
- OCEL 10 472 ISTEK – 4x smotek dvou drátů  $\varnothing 8$  –  $f_{yk} = 360 \text{ Mpa}$   
- krytí výztuže – 20 mm

## PRŮVLAK P1 - BETON B15 (dle EN 1992-1-1 odpovídá betonu C12/15)

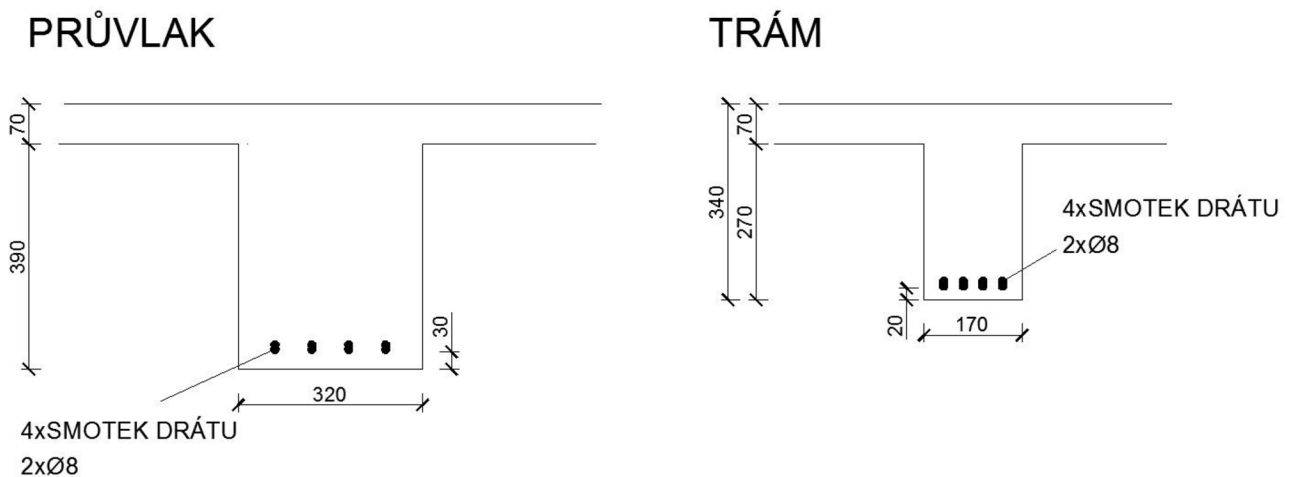
$$f_{ck} = 12 \text{ Mpa.}$$

- OCEL 10 472 ISTEK – 4x smotek dvou drátů  $\varnothing 8$  –  $f_{yk} = 360 \text{ Mpa}$

- krytí výztuže – 30 mm

Jiné druhy výztuže nebyly diagnostickým průzkumem prokázány.

(Výsledky diagnostického průzkumu byly součástí zadání bakalářské práce – viz příloha B4)



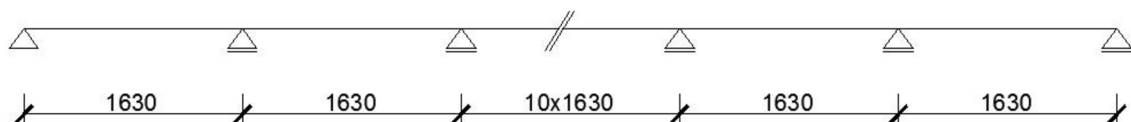
obr.8 ( rozměry a vyztužení prvků)

## 2. STATICKÉ PŮSOBENÍ

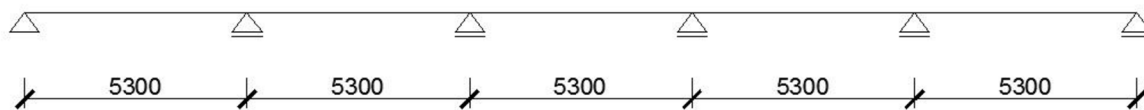
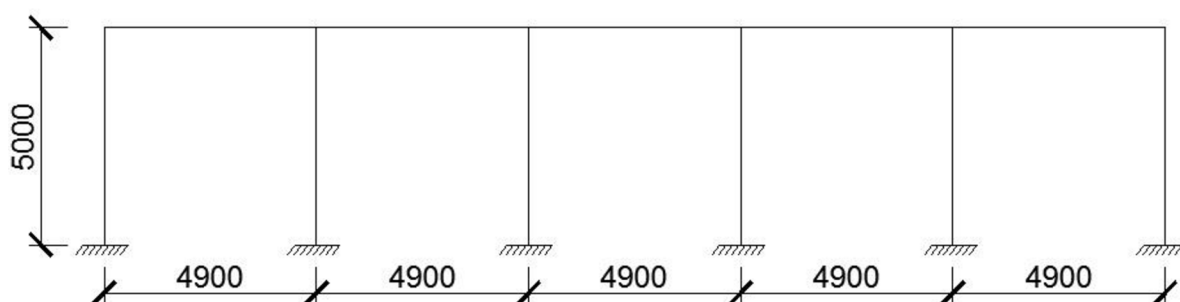
Z hlediska **statického působení** je deska uvažována jako spojitý nosník o čtrnácti polích.

Trám je uvažovaný jako spojitý nosník o pěti polích a průvlak jako rámová konstrukce o pěti polích.

### Statické schéma desky:



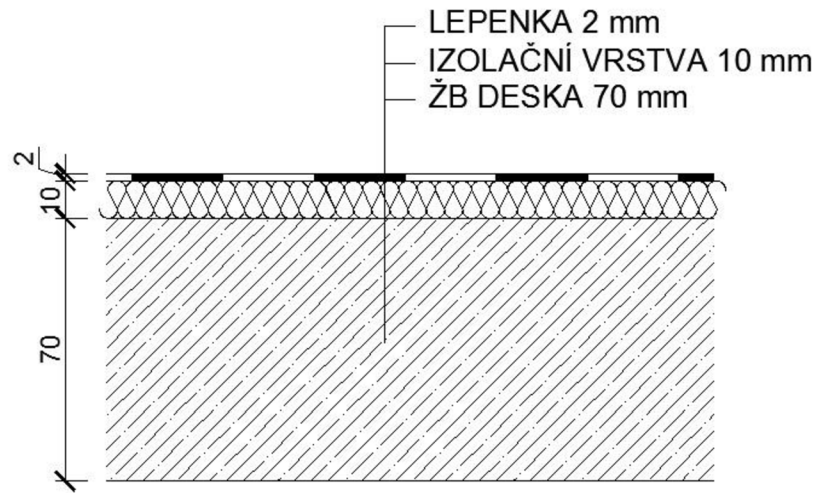
obr.9 (statické schéma)

**Statické schéma trámu:***obr.10 (statické schéma)***Statické schéma průvlnaku:***obr.11 (statické schéma)*

### 3. ZATÍŽENÍ

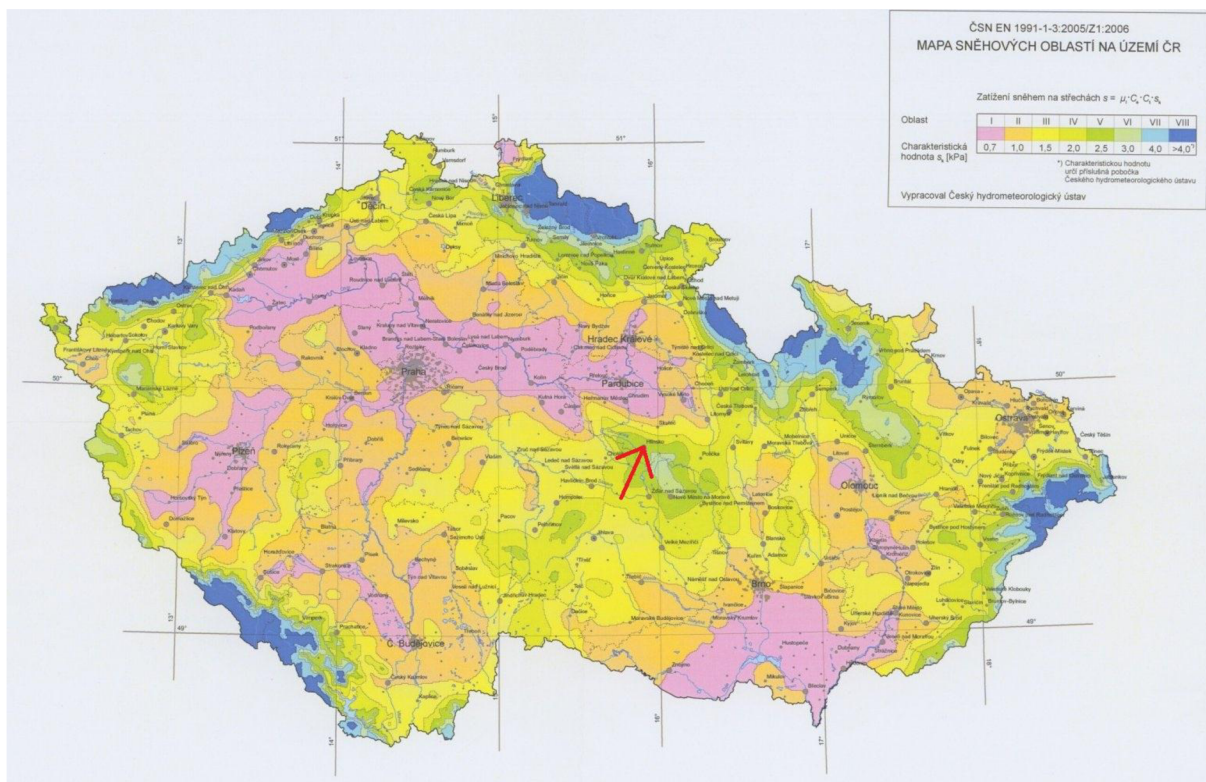
- Zatížení** haly se skládá z následujících složek:
- vlastní tíha konstrukce
  - váha fotovoltaických panelů
  - zatížení sněhem
  - zatížení větrem
  - užité zatížení pro střechy kat. H

Skladba střechy je následující: LEPENKA tl. 2 mm; IZOLAČNÍ VRSTVA tl. 10 mm. Tíha železobetonu je uvažována  $25 \text{ kg/m}^3$ . Váha fotovoltaických panelů včetně montáže a údržby je dle výrobce  $24 \text{ kg/m}^2$ .



obr.12 (skladba střechy)

Hlinsko se nachází v V. sněhové oblasti ( $s_k=2,5 \text{ kN/m}^2$ ). Zatížení větrem dále ve statickém výpočtu není uvažováno, protože pro ploché střechy platí, že při běžném vodorovném proudu vzduchu se projevuje pouze sání, tzn. odlehčení konstrukce. Užité zatížení pro střechy kategorie H také není uvažováno, protože nepůsobí současně s jiným zatížením a není rozhodující.



obr. 13 (Mapa sněhových oblastí na území ČR)



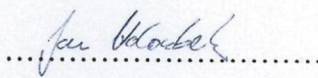
#### 4. ZÁVĚR

Statický výpočet byl proveden ručně. Byly použity následující normy a předpisy: ČSN EN 1990; ČSN EN 1991-1-1; ČSN EN 1991-1-3; ČSN EN 1991-1-4; ČSN EN 1992-1-1; ČSN EN 1992-1-4; ČSN 73 0038.

Ke zjednodušení některých výpočtů byl použit MS EXCEL 2010. K ověření správnosti vypočtených momentů od daného zatížení byl použit program Scia Engineer 2011.1.

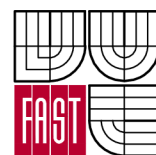
Výpočtem bylo prokázáno, že střešní konstrukci lze přitížit fotovoltaickými panely, aniž by došlo k překročení únosnosti u některého z nosných prvků a aniž by došlo k nadměrným průhybům konstrukce.

V Brně dne 21.5.2012



.....  
Holoubek Jan

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V BRNĚ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV BETONOVÝCH A  
ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ  
Veveří 331/95, 602 00 Brno

Vypracoval:

JAN HOLOUBEK

Vedoucí práce:

Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.

Akce:

**PRŮMYSLOVÁ HALA HLINSKO**

Název přílohy:

**PRŮVODNÍ ZPRÁVA**

Datum:

**5/2012**

Formát:

**A4**

Měřítko:

-

Číslo přílohy:

**A2**

Číslo výkresu:

-

## PRŮVODNÍ ZPRÁVA KE STATICKÉMU VÝPOČTU

### Základní údaje:

Statický výpočet se zabývá posouzením STŘEŠNÍ KONSTRUKCE PO PŘITÍŽENÍ FOTOVOLTAICKÝMI PANELY. Jedná se o průmyslovou halu obdélníkového půdorysu o rozměrech 26,5 x 24,5 m. Posouzení všech nosných prvků (ŽB deska, ŽB trám, ŽB průvlak) je provedeno v souladu s platnými a nově zavedenými evropskými normami, tzv. Eurokódy, zejména pak:

- [1] ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách

Návrhová životnost konstrukce byla 50 let, investor se ale, na základě jejího dobrého stavu, rozhodl zvýšit životnost o 20 let. Dle [1] lze tedy konstrukci zařadit do čtvrté kategorie s návrhovou životností 80let.

### Zatížení:

Z hlediska stálého zatížení působí na konstrukci pouze vlastní tíha. Skladba střechy je následující: lepenka tl. 2 mm; izolační vrstva tl. 10 mm. Z hlediska užitného zatížení spadá konstrukce do kategorie H (střechy nepřístupné s výjimkou údržby a oprav), kde působí pouze osamělé břemeno o velikosti 0,9 kN. Kromě tohoto zatížení je dále uvažováno zatížení sněhem. Hlinsko spadá do páté sněhové oblasti ( $s_k=2,5\text{kN/m}^2$ ). Zatížení větrem není uvažováno, protože pro ploché střechy platí, že vodorovný proud vzduchu způsobuje pouze sání, tj. nadlehčení konstrukce.

Vzhledem k tomu že součinitel  $\Psi_0 = 0,0$ ; tj. užité zatížení střechy kategorie H nepůsobí současně s jiným proměnným zatížením na konstrukci a jeho účinky jsou menší než od působení sněhu, není s tímto zatížením uvažováno v kombinaci zatížení dle [1]. V kombinaci se dále vyskytuje součinitel  $K_{ff}=0,9$ . (Dle [1] k-ce spadá do třídy následků CC1 – Malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo malé/zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí.)

#### Statické působení:

##### Deska:

Z hlediska statického působení je deska uvažovaná jako spojitý nosník o čtrnácti polích délky 1,63 m, který je plně zatížen rovnoměrným spojitým zatížením od vlastní tíhy o velikosti  $g_k=1,995$  kN/m a rovnoměrným spojitým zatížením po celé délce od působení sněhu o velikosti  $s_k=2,0$  kN/m. Vnitřní síly jsou spočítány pomocí vzorců pro spojitý nosník o pěti a více polích ze statických tabulek. Vypočtené hodnoty momentů jsou pak ověřeny programem SCIA ENGINEER 2011.1, kde je konstrukce řešena jako prutový model – spojitý nosník o čtrnácti polích délky 1,63 m, prostě podepřený, zatížený pouze rovnoměrným zatížením  $g_k=1,995$  kN/m a  $s_k=2$  kN/m. Výsledky získané pomocí statických tabulek a pomocí výpočetního programu jsou shodné.

##### Trám:

Trám je uvažovaný jako spojitý nosník o pěti polích délky 5,3 m, prostě podepřených, plně zatížen rovnoměrným zatížením od působení vlastní tíhy a od působení sněhu. Zatížení je zde vynásobeno zatěžovací šířkou 1,63 m. Výsledné hodnoty zatížení jsou tedy  $g_k=4,40$  kN/m a  $s_k=3,26$  kN/m. Vnitřní síly jsou vypočítány metodou třímomentových rovnic. Následně jsou vypočtené hodnoty vnitřních sil ověřeny programem SCIA ENGINEER 2011.1, kde je konstrukce řešena jako prutový model – spojitý nosník o pěti polích délky 5,3 m zatížen pouze rovnoměrným zatížením  $g_k=4,40$  kN/m a  $s_k=3,26$  kN/m. Výsledky získané pomocí metody třímomentových rovnic a pomocí výpočetního programu jsou shodné.

Průvlak:

Kvůli konstrukčnímu řešení je průvlak uvažován jako rámová konstrukce o pěti polích. Sloupy jsou uvažovány jako vetknuté do země. Délka jednotlivých polí je 4,9 m. Rámová konstrukce je zatížena pouze svislým zatížením, a to konkrétně vlastní tíhou průvlaku  $g_k = 3,12 \text{ kN/m}$ , která působí jako rovnoměrné zatížení po celé délce průvlaku, reakcemi od trámů od vlastní tíhy  $R_g = 26,38 \text{ kN}$  a od působení sněhu  $R_s = 19,55 \text{ kN}$ , které působí v místech uložení trámů a vlastní tíhou sloupu  $g_{ks} = 2,56 \text{ kN/m}$ , která působí jako rovnoměrné svislé zatížení po výšce sloupu. Vnitřní síly jsou spočítány metodou rámových výseků a poté zkontrolovány programem SCIA ENGINEER 2011.1, kde je uvedený rám řešen jako prutový model zatížený již výše zmiňovaným zatížením. Program potvrdil správnost výsledků počítaných ručně.

Jelikož byly výše uvedené vnitřní síly spočítány i se zatížením fotovoltaickými panely, tak pro zjištění přírůstku vnitřních sil pouze od přitížení panely je proveden nový výpočet zjednodušenou metodou pomocí vzorců ze statických tabulek a výsledky následně zkontrolovány výpočetním programem SCIA ENGINEER 2011.1.

Deska je uvažována jako spojitý nosník o pěti a více polích zatížen rovnoměrným spojitým zatížením  $g_k = 0,24 \text{ kN/m}$ . Trám je uvažovaný jako spojitý nosník o pěti polích zatížen rovnoměrným spojitým zatížením  $g_k = 0,39 \text{ kN/m}$  a průvlak jako rámová konstrukce zatížená pouze reakcemi od trámů  $R_g = 2,36 \text{ kN}$ .

Kombinace vnitřních sil:

Ke kombinaci byly použity vzorce dle [1] - 6.10, 6.10a), 6.10b). Jako hlavní proměnné zatížení bylo uvažováno působení sněhu. Jak již bylo výše řečeno - Dle [1] k-ce spadá do třídy následků CC1 – Malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo malé/zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí, kombinační vzorce jsou přenášobeny navíc součinitelem  $K_{fl} = 0,9$ .

Ostatní součinitelé ve vzorcích :  $\gamma_G = 1,35$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$\xi = 0,85$$

$$\Psi_{0,1} = 0,5 \text{ (pro zatížení sněhem v } H < 1000 \text{ m n.m.)}$$

Materiály a údaje zjištěné diagnostickým průzkumem:

DESKA D1 - BETON B15 (dle [2] odpovídá betonu C12/15)  $f_{ck}=12$  Mpa

- OCEL 10 370 - Ø 8 á 200 mm –  $f_{yk}=210$  Mpa

- krytí výztuže – 10 mm

TRÁM T1 - BETON B15 (dle EN [2] odpovídá betonu C12/15)  $f_{ck}=12$  Mpa

- OCEL 10 472 ISTEK – 4x smotek dvou drátů Ø 8 –  $f_{yk}=360$  Mpa

- krytí výztuže – 20 mm

PRŮVLAK P1 - BETON B15 (dle [2] odpovídá betonu C12/15)  $f_{ck}=12$  Mpa

- OCEL 10 472 ISTEK – 4x smotek dvou drátů Ø 8 –  $f_{yk}=360$  Mpa

- krytí výztuže – 30 mm

Posouzení nosných prvků konstrukce:

Posouzení bylo prováděno v kritických průřezech dle [2] jak na únosnost v ohybu, tak na únosnost ve smyku. Nosné prvky vyhověly podmínkám [2] a splňují konstrukční zásady. V kritických místech, kde výztuž nebyla prokázána diagnostickým průzkumem (ohybová výztuž nad podporou a smyková výztuž u všech nosných prvků), bylo spočítáno minimální vyztužení, které se musí prokázat podrobným diagnostickým průzkumem. Pokud se prokáže jiná výztuž, než byla stanovena statickým výpočtem, je nutná okamžitá konzultace se statikem.

Mezní stav použitelnosti:

U trámu T1 byl ověřen průhyb po přitížení fotovoltaickými panely. Výpočet je prováděn pomocí tuhosti trámu. Tuhost je spočítána pro každý stav 2x. Jednou pro neporušený ideální průřez, podruhé pro plně porušený průřez. Skutečná tuhost pak je stanovena interpolací podle vztahu uvedeného v [5].

Výpočet je rozdělen do několika částí. Jako první je spočítán krátkodobý průhyb v čase od odbednění konstrukce. Následuje výpočet dlouhodobého průhybu v čase od odbednění konstrukce po čas  $t = 50$  let. Dále je spočítán elastický průhyb od přitížení panely v čase  $t = 50$  let a dlouhodobý průhyb od vlastní tíhy konstrukce a tíhy panelů v čase

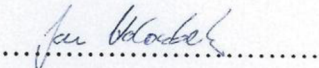
t = 50-70 let. K tomuto vypočtenému průhybu je připočten ještě přídavný průhyb od smršťování. Průhyb od smršťování je počítán pro 2 časové intervaly – 0-50 let a 50-70 let.

Suma všech průhybů je pak porovnána s doporučenou mezní hodnotou uvedenou v [4] a je prokázáno, že konstrukce vyhoví na průhyb.

#### Závěr:

Statickým výpočtem bylo prokázáno, že i po přitížení fotovoltaickými panely nebude na konstrukci překročen mezní stav únosnosti u posuzovaných nosných prvků a že vlivem přitížení nevzniknou na konstrukci nadměrné průhyby.

V Brně dne 18. 5. 2012



.....  
Holoubek Jan

## ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala ověřením konstrukce po přitížení fotovoltaickými panely. Posouzeny byly tyto nosné prvky: ŽB. deska, ŽB. trám, ŽB. průvlak. Výpočet vnitřních sil byl proveden ručně a následně zkontrolován výpočetním programem. Samotné posouzení pak bylo provedeno dle platných zásad a pravidel uvedených v EN.

Všechny nosné prvky vyhověly na mezní únosnost, i na konstrukční zásady. V místech kritických průřezů, kde nebyla výztuž diagnostickým průzkumem prokázána, statický výpočet uvádí minimální výztuž, co musí být prokázána při detailním diagnostickém průzkumu.

Spočtený průhyb trámu byl menší než  $1/250$  rozpětí ve vztahu k podporám, tudíž dle EN je vyhovující.

Všechny posudky provedené statickým výpočtem vyhověly, tudíž střechu průmyslové haly lze přitížit fotovoltaickými panely, aniž by došlo k nadměrným deformacím, nebo zhroucení konstrukce.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:

- [1] ČSN EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Zatížení konstrukcí: Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí: Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [5] ČSN EN 1992-1-1. *Navrhování betonových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [6] ČSN 73 0038. *Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách*
- [7] TERZIJSKI, Ivailo. *M01 Základy navrhování konstrukcí, zatížení, materiály*; [online] Brno, 2005.
- [8] PANÁČEK, Josef. *M02 – Dimenzování betonových prvků*; [online] Brno, 2005.
- [9] ŠTĚPÁNEK, Petr; ZMEK, Bohuslav. *M03 – Navrhování jednoduchých prvků*; [online] Brno, 2005.
- [10] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 186 s. ISBN 978-80-7204-561-7.
- [11] NOVÁK, Otakar; HOŘEJŠÍ, Jiří; *Statické tabulky pro stavební praxi*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1978.
- [12] Počasí v Hlinsku. *Meteoprog* [online]. © 2003-2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.meteoprog.cz/cs/weather/Hlinsko/>

- [13] HOLICKÝ; MARKOVÁ. *Charakteristiky materiálů*. Praha: Kloknerův ústav ČVUT, 2005.
- [14] KYTÝR, Jiří; FRANTÍK, Petr. *STATIKA 1 – Modul Bd03-01, Rozšířený průvodce*. [online] Brno, 2005
- [15] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Přednáška 5b - dotvarování a smršťování betonu*. [online]. Dostupné z: [http://wiki.idea-rs.cz/wp-content/uploads/2010/10/2010\\_prednaska\\_5\\_dtv\\_sm.swf](http://wiki.idea-rs.cz/wp-content/uploads/2010/10/2010_prednaska_5_dtv_sm.swf)

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

Seznam není úplný, některé veličiny či symboly jsou vysvětleny ve statickém výpočtu.

$g$	- stálé zatížení
$q$	- užité zatížení
$h$	- výška
$l$	- délka
$F$	- síla
$R$	- podporová reakce
$M$	- ohybový moment ( jednotlivé druhy jsou odlišeny indexy)
$V_{ed}$	- posouvající síla
$R_{sd}$	- návrhová hodnota meze kluzu bet. oceli dle staré normy ČSN
$R_{bd}$	- návrhová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
$\mu$	- součinitel úhlu sklonu střechy
$C_e$	- součinitel typu krajiny
$C_t$	- teplotní součinitel
$S$	- char. hodnota zatížení sněhem
$E$	- modul pružnosti daného materiálu
$I$	- moment setrvačnosti prvku
$\varphi$	- pootočení způsobené zatížením nosníku
$\alpha$	- pootočení způsobené momentem působícím v přilehlé podpoře
$\beta$	- pootočení způsobené momentem působícím v sousední podpoře
$k$	- tuhost prvku
$f_{ck}$	- char. hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
$f_{cd}$	- návrhová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
$f_{ctm}$	- střední hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
$\varepsilon_{cu}$	- mezní poměrné přetvoření betonu v tlaku
$\varepsilon_s$	- poměrné přetvoření betonářské výztuže

$f_{yk}$	- char. hodnota meze kluzu betonářské oceli
$f_{yd}$	- návrhová hodnota meze kluzu betonářské oceli
$f_{ywd}$	- návrhová hodnota meze kluzu smykové výztuže
$c$	- krytí výztuže vrstvou betonu
$A_{st}$	- plocha navržené (stávající) betonářské výztuže
$A_{st,min}$	- minimální možná plocha betonářské výztuže
$A_{st,max}$	- maximální možná plocha betonářské výztuže
$A_{st,req}$	- nutná plocha betonářské výztuže
$b$	- šířka průřezu
$b_{eff}$	- efektivní šířka průřezu
$d$	- účinná výška průřezu
$x$	- poloha neutrální osy
$x_{lim}$	- limitní poloha neutrální osy
$z_c$	- rameno vnitřních sil
$M_r$	- moment na mezi únosnosti
$V_{rc}$	- návrhová únosnost ve smyku prvku bez smykové výztuže
$A_c$	- plocha betonového průřezu
$\Delta F_{td}$	- dodatečná tahová síla vyvolaná silou $V_{ed}$
$\theta$	- úhel mezi betonovými tlakovými diagonálami a osou nosníku kolmou na posouvající sílu
$\alpha$	- úhel mezi smykovou výztuží a osou nosníku kolmou na posouvající sílu
$A_{sl}$	- plocha tahové výztuže, která zasahuje do vzdálenosti $(l_{bd} + d)$ za posuzovaný průřez směrem k podpoře
$\rho$	- stupeň vyztužení
$t$	- čas (jednotlivá stádia odlišena indexy)
$\gamma_c$	- dílčí součinitel betonu dle EN 1992-1-1
$\gamma_m$	- dílčí součinitel betonářské výztuže dle EN 1992-1-1
$W$	- průřezový modul
$\varphi(t, t_0)$	- koeficient dotvarování

$\varepsilon$	- přetvoření
$\sigma$	- napětí
$s$	- vzdálenost mezi sousedními třmínky
$\Delta$	- změna (přírůstek)
$M_{cr}$	- kritický moment na vzniku trhlin
$a_{gi}$	- poloha těžištní osy plně působícího ideálního průřezu
$A_i$	- plocha ideálního průřezu
$x_i$	- poloha neutrální osy plně působícího ideálního průřezu
$I_i$	- moment setrvačnosti plně působícího ideálního průřezu
$x_{ir}$	- poloha neutrální osy zcela porušeného ideálního průřezu
$I_{ir}$	- moment setrvačnosti zcela porušeného ideálního průřezu
$w_x$	- průhyb nosníku (druhy jsou odlišeny indexy)
$S$	- statický moment průřezové plochy výztuže k těžišti průřezu

## SEZNAM PŘÍLOH:

B1	STATICKÝ VÝPOČET	
B2	VÝKRES (SCHÉMA) TVARU NOSNÉ KONSTRUKCE	1:50 (1:500)
B3	VÝKRESY (SCHÉMATA) VÝZTUŽE	
B3-1	SCHÉMA VÝZTUŽE DESKY D1	1:20
B3-2	SCHÉMA VÝZTUŽE TRÁMU T1	1:25 (1:10)
B3-3	SCHÉMA VÝZTUŽE PRŮVLAKU P1	1:25 (1:10)
B4	PODKLADY A ZADÁNÍ	