

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Vícepodlažní obytný dům z materiálů na bázi dřeva

Multi-storey residential house made of wood-based materials

Bakalářská práce

Student:

Vedoucí bakalářské práce:

Jan Dedek

prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Ostrava 2020

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Dedek**

Studijní program: B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb

Téma: **Vícepodlažní obytný dům z materiálů na bázi dřeva**  
**Multi-storey residential house made of wood-based materials**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce vypracujte:

1. Vypracujte stručnou rešerši nosných systémů staveb pro bydlení na bázi dřeva v ČR v současnosti.
2. Navrhněte dispoziční řešení min. 3-podlažního obytného domu z materiálů na bázi dřeva ve zvolené variantě konstrukčního systému.
3. Zpracujte návrh a posouzení vybraných rozhodujících nosných prvků a spojů, včetně ztužení a kotvení.
4. Navrhněte způsob montáže nosného systému domu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály. Vydal Koželouh, B. – KODR Zlín, 1998.
- 3) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů. Vydal Informační centrum ČKAIT, 2004.
- 4) Natterer, J. O. et al., Holzbau Atlas, Birkhauser – Verlag für Architektur, 2003, Basel, Schweiz, ISBN 3-7643-6984-1.
- 5) Příručka 1 a 2, <http://fast10.vsb.cz/temtis/cz>, 2008.
- 6) Kolb, J., Dřevostavby (Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště). Grada Publishing, a.s., Praha, 2008. ISBN 978-80-247-2275-7.
- 7) Vaverka, J. a kol., Dřevostavby pro bydlení. Grada Publishing, a.s. Praha, 2008. ISBN 978-80-247-2205-4.
- 8) Nagy, E., Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům. Jaga Group, s.r.o. Bratislava, 2009. ISBN 978-80-8076-077-9.
- 9) Kolektiv, Dřevostavby a dřevěné konstrukce, I. a II. díl. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

---

prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
*vedoucí katedry*

---

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
*děkan fakulty*

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21.5.2020

.....

Jan Dedek



Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21.5.2020

.....

Jan Dedek

## **Anotace**

Cílem této bakalářské práce je vypracovat návrh a posudek hlavní nosné konstrukce vícepodlažního obytného domu s konstrukčním systémem těžkého dřevěného skeletu na základě vnitřních sil získaných z prostorového výpočetního modelu. V úvodní části práce je zmíněn přehled historických a novodobých konstrukčních systémů z materiálu na bázi dřeva, vyskytujících se na našem území v současnosti. Poté se práce zabývá návrhem celkové dispozice obytného domu a popisem jeho konstrukčního řešení. V hlavní části práce jsou popsány skladby konstrukcí se zatížením a posouzení rozhodujících nosných prvků a spojů, včetně ztužení a kotvení. V závěrečné části je popsán zjednodušený montážní postup nosné i nenosné konstrukce obytného domu.

Počet stran: 171

## **Klíčová slova:**

obytný dům, dřevo, dispozice, skeletová konstrukce, spoje, ztužení, kotvení

## **Annotation**

The main goal of this bachelor thesis is to design the main parts of load-bearing structure of multi-storey residential house with the heavy frame timber system. The designing of load-bearing structure is based on internal forces from 3D computational model. In the introductory part is mentioned overview of historical and modern load-bearing structural systems made of wood-based materials occurring nowadays in our locations. After that the thesis deals with the designing of disposition and description load-bearing structural solution of multi-storey residential house. In the main part are described compositions of walls and roofs under the loads and the assessment of the main load-bearing elements and joints, including anchoring and toughening of the structure. In the last part of the thesis is described simplified structural procedure of load-bearing and non-load-bearing structure of multi-storey residential house.

Number of pages: 171

## **Key words:**

residential house, timber, disposition, frame construction, joints, toughening, anchoring

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Rešerše nosných systémů staveb pro bydlení na bázi dřeva v ČR v současnosti.....	2
2.1	Srubové a roubené stavby.....	2
2.2	Hrázděné stavby .....	5
2.3	Sloupkové systémy Platform – Frame a Balloon – Frame .....	6
2.4	Rámové stavby .....	7
2.5	Skeletové stavby.....	10
2.6	Stavby z masivního dřeva.....	15
2.6.1	Plné průřezy.....	15
2.6.2	Složené průřezy .....	17
2.7	Statistika dokončených rodinných domů a dřevostaveb v roce 2018.....	19
3	Pětipodlažní obytný dům na bázi dřeva.....	21
3.1	Dispoziční řešení .....	21
3.2	Konstrukční systém .....	23
4	Zatížení.....	26
4.1	Zatížení stálé - skladby stěn, stropů a střešního pláště .....	26
4.1.1	Obvodová stěna .....	26
4.1.2	Vnitřní stěny .....	30
4.1.3	Stropy .....	32
4.2	Zatížení větrem.....	35
4.3	Zatížení sněhem.....	42
4.4	Zatížení užité .....	43
5	Návrh a posudek vybraných prvků.....	44
5.1	Návrh a posouzení stropního nosníku .....	44
5.1.1	Posouzení dle MSÚ .....	45
5.1.2	Posouzení dle MSP.....	52
5.2	Návrh a posudek stropního nosníku v rovině připojení vnitřních ztužidel.....	53
5.2.1	Posouzení dle MSÚ .....	54
5.3	Návrh a posudek dvojice stropních nosníků.....	59
5.3.1	Posouzení dle MSÚ .....	59
5.3.2	Posouzení dle MSP.....	64
5.4	Návrh a posouzení střešního nosníku .....	65
5.4.1	Posouzení dle MSÚ .....	67
5.4.2	Posouzení dle MSP.....	71
5.5	Návrh a posudek střešního nosníku v rovině připojení ztužidel.....	73
5.5.1	Posouzení dle MSÚ .....	73

5.6	Návrh a posudek dvojice střešních nosníků .....	77
5.6.1	Posouzení dle MSÚ .....	78
5.6.2	Posouzení dle MSP .....	81
5.7	Návrh a posouzení stropního průvlaku .....	83
5.7.1	Posouzení dle MSÚ .....	84
5.7.2	Posouzení dle MSP .....	89
5.8	Návrh a posouzení střešního průvlaku .....	90
5.8.1	Posouzení dle MSÚ .....	91
5.8.2	Posouzení dle MSP .....	96
5.9	Návrh a posouzení sloupu .....	97
5.9.1	Posouzení dle MSÚ .....	98
5.10	Návrh a posouzení vnitřního ztužidla .....	102
5.10.1	Posouzení dle MSÚ .....	103
5.11	Tažené diagonály .....	106
5.11.1	Posouzení dle MSÚ .....	106
5.11.2	Napnutí tažených diagonál .....	108
6	Návrh a posouzení spojů .....	108
6.1	Posouzení únosnosti spoje stropního nosníku a průvlaku .....	108
6.1.1	Posouzení únosnosti spoje ocelového třmenu a průvlaku .....	109
6.1.2	Posouzení únosnosti spoje ocelového třmenu a stropního nosníku .....	113
6.1.3	Posouzení plechu třmene .....	114
6.2	Návrh a posouzení připojení vnitřního ztužidla ke stropnímu nosníku .....	115
6.2.1	Posouzení únosnosti spoje v diagonále .....	115
6.2.2	Posouzení únosnosti spoje ve stropním nosníku .....	119
6.3	Návrh a posouzení spoje sloup-průvlak .....	122
6.3.1	Posouzení stojiny ocelového svařence .....	123
6.3.2	Posouzení únosnosti spoje vodorovného plechu a průvlaku .....	125
6.3.3	Posouzení únosnosti spoje tažené diagonály a připojovacího plechu .....	127
6.3.4	Posouzení únosnosti spoje stropního nosníku a ocelového svařence .....	132
6.3.5	Posouzení únosnosti spoje sloupu a ocelového svařence .....	137
7	Kotvení .....	140
7.1	Návrh a posudek patního plechu a podlití .....	140
7.2	Přenos vodorovných sil .....	142
7.3	Návrh a posouzení spoje sloupu s patkou .....	145
7.4	Kotevní šrouby .....	146
8	Montáž domu .....	146
8.1	Betonáž stropní desky prvního podzemního podlaží .....	146

8.2	Výstavba nosné konstrukce .....	146
8.3	Výstavba dělicích konstrukcí .....	147
8.4	Dokončovací práce .....	148
9	Závěr.....	149
	Použitá literatura.....	151
	Seznam příloh.....	155

# Seznam použitého značení

## Kapitola 4.:

$b_d$	Hloubka domu (půdorysný rozměr)
$c_{dir}$	Součinitel směru větru
$C_e$	Součinitel expozice
$c_0(z)$	Součinitel ortografie
$c_{pe,10}$	Součinitel vnějšího tlaku pro plochu nad 10 m <sup>2</sup>
$c_{pi}^+, c_{pi}^-$	Součinitel vnitřního tlaku
$c_r$	Součinitel drsnosti
$c_{season}$	Součinitel ročního období
$C_t$	Tepelný součinitel
$d_d$	Šířka domu
$e$	Referenční hodnota pro stanovení rozměrů větrných oblastí
$h_d$	Výška domu
$h_p$	Výška atiky
$Iv(z)$	Intenzita turbulence
$k_1$	Součinitel turbulence
$k_r$	Součinitel terénu
$q_p(z)$	Maximální charakteristický tlak
$s_k$	Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
$s$	Charakteristická hodnota zatížení sněhem na střechu
$v_{b,0}$	Výchozí základní rychlost větru
$v_b$	Základní rychlost větru
$v_m(z)$	Charakteristická střední rychlost větru
$w_k$	Výsledný tlak větru na konstrukci
$z_{min}$	Minimální výška
$z_0, z_{0,II}$	Parametry drsnosti terénu
$\mu_1$	Tvarový součinitel zatížení sněhem

## Kapitola 5. a 6.:

$A$	Plocha průřezu
$A_{ef}$	Účinná dotyková plocha kolmo k vláknům
$A_{net}$	Plocha oslabeného průřezu otvory
$A_{net,t}$	Čistá průřezová plocha kolmo k vláknům
$A_{net,v}$	Čistá smyková plocha rovnoběžně se směrem vláken

$A_{tř}$	Šířka třmenu
$B_{tř}$	Výška třmenu
$F_{ax,Rd}$	Návrhová hodnota únosnosti jednoho spojovacího prostředku na vytažení
$F_{ax,Rk}$	Charakteristická hodnota únosnosti jednoho spojovacího prostředku na vytažení
$F_{b,Rd}$	Návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení
$F_{bs,Rk}$	Charakteristická únosnost proti porušení blokovým a zátkovým smykem
$F_{bs,Rd}$	Návrhová únosnost proti porušení blokovým a zátkovým smykem
$F_{Rd}$	Výsledná návrhová únosnost šroubového spoje
$F_{t,Rd}$	Celková hodnota návrhové únosnosti spojovacích prostředků na vytažení
$F_{US}$	Hodnota smykové únosnosti ocelového plechu dle výrobce
$F_{UT}$	Hodnota únosnosti ocelového plechu v tahu dle výrobce
$F_{v,Rk}$	Charakteristická hodnota únosnosti jednoho spojovacího prostředku ve stříhu
$F_{v,Rd}$	Návrhová hodnota únosnosti jednoho spojovacího prostředku ve stříhu; Návrhová únosnost šroubu na stříh
$F_{vc,Rd}$	Celková návrhová hodnota únosnosti spojovacích prostředků ve stříhu
$F_{w,Rd}$	Návrhová únosnost koutového sváru namáhaného v rovině sváru
$I$	Moment setrvačnosti průřezu
$L_{cr}$	Vzpěrná délka
$L_w$	Účinná délka sváru
$L_{net}$	Čistá šířka průřezu kolmo k vláknům
$L_{net,v}$	Čistá celková délka plochy smykového lomu
$M_{y,d}$	Návrhová hodnota ohybového momentu kolem osy y
$M_{z,d}$	Návrhová hodnota ohybového momentu kolem osy z
$M_{y,Rk}$	Charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti
MSÚ	Mezní stav únosnosti
MSP	Mezní stav použitelnosti
$N_{b,Rd}$	Návrhová vzpěrná únosnost tlačeního prutu
$N_{c,d}$	Návrhová hodnota tlakové síly
$N_{t,d}$	Návrhová hodnota tahové síly
$N_{u,Rd}$	Návrhová únosnost oslabeného místa průřezu v tahu
R	Výslednice vnitřních sil ve spoji
$V_{y,d}$	Návrhová hodnota posouvající síly ve směru osy y
$V_{z,d}$	Návrhová hodnota posouvající síly ve směru osy z



$W$	Modul průřezu
$X_d$	Obecná návrhová pevnost dřeva
$X_k$	Obecná charakteristická pevnost dřeva
$a_w$	Účinná tloušťka sváru
$a_1$	Rozteč spojovacích prostředků v jedné řadě rovnoběžně s vlákny
$a_2$	Rozteč řad spojovacích prostředků kolmo na vlákna
$a_{3,c}$	Vzdálenost mezi spojovacím prostředkem a nezatíženým koncem
$a_{3,t}$	Vzdálenost mezi spojovacím prostředkem a zatíženým koncem
$a_{4,c}$	Vzdálenost mezi spojovacím prostředkem a nezatíženým okrajem
$a_{4,t}$	Vzdálenost mezi spojovacím prostředkem a zatíženým okrajem
$b$	Šířka průřezu
$d$	Průměr spojovacího prostředku
$d_{ef}$	Efektivní průměr vrutu
$d_0$	Velikost otvoru pro hřebíky, šrouby
$d_z$	Průměr tažené diagonály
$f_{c,0,k}$	Charakteristická pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,0,d}$	Návrhová pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,k}$	Charakteristická pevnost dřeva v tlaku kolmo na vlákna
$f_{c,90,d}$	Návrhová pevnost dřeva v tlaku kolmo na vlákna
$f_{h,k}$	Charakteristická pevnosti otláčení ve dřevu
$f_{h,0,k}$	Charakteristická hodnota pevnosti otláčení ve dřevě rovnoběžně s vlákny
$f_{h,\alpha,k}$	Charakteristická hodnota pevnosti otláčení ve dřevě pro úhel $\alpha$ k vláknům
$f_{m,k}$	Charakteristická pevnost dřeva v ohybu
$f_{m,d}$	Návrhová pevnost dřeva v ohybu
$f_{t,0,k}$	Charakteristická pevnost dřeva v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{t,0,d}$	Návrhová pevnost dřeva v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_u$	Pevnost drátu hřebíků v tahu; mez pevnosti oceli
$f_{u,k}$	Charakteristická pevnost spojovacího prostředku v tahu
$f_{v,k}$	Charakteristická pevnost dřeva ve smyku
$f_{v,d}$	Návrhová pevnost dřeva ve smyku
$f_{vw,d}$	Návrhová pevnost svárů ve smyku
$f_{y,k}$	Charakteristická hodnota meze kluzu oceli
$f_{y,b}$	Mez kluzu oceli šroubu
$f_{u,b}$	Mez pevnosti oceli šroubu
$g_k$	Charakteristická hodnota stálého zatížení
$g_{kstrop}$	Charakteristická hodnota stálého zatížení od stropu

$g_{pr}$	Charakteristická hodnota stálého zatížení od průvlaku
$h$	Výška průřezu
$h_p$	Výška plechu stojiny svařence
$i_{y,z}$	Poloměr setrvačnosti
$k_{cr}$	Součinitel trhlin pro únosnost ve smyku
$k_{crit}$	Součinitel, který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní stability
$k_{c,y,z}$	Součinitel vzpěrnosti
$k_{c,90}$	Součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost štěpení dřeva a stupeň jeho deformace v tlaku
$k_{y,z}$	Součinitel pro dopočet součinitele vzpěrnosti $k_c$
$k_{def}$	Deformační součinitel
$k_{90}$	Součinitel pro výpočet $f_{h,\alpha,k}$
$k_{mod}$	Modifikační součinitel
$l$	Délka nosníku, sloupu
$l_h$	Délka hřebíku
$l_{v,i}$	Jednotlivé délky čisté celkové délky smykové plochy
$n$	Počet spojovacích prostředků v jedné řadě
$n_{ef}$	Efektivní počet spojovacích prostředků v jedné řadě
$q_k$	Charakteristická hodnota užitého zatížení
$\check{s}$	Zatěžovací šířka
$t$	Tloušťka plechu
$t_{ef}$	Účinná výška pro určitý způsob poručení
$t_1$	Hloubka vniku hřebíku do dřeva; tloušťka krajního dřevěného prvku
$w_{inst}$	Celkový okamžitý průhyb
$w_{inst,g}$	Okamžitý průhyb od stálého zatížení
$w_{inst,q}$	Okamžitý průhyb od proměnného zatížení
$w_{inst,s}$	Okamžitý průhyb od zatížení sněhem
$w_{inst,wk}$	Okamžitý průhyb od zatížení větrem
$w_{net,fin}$	Celkový konečný průhyb
$\alpha$	Úhel mezi směrem vektoru výslednice síly a směrem vláken ve dřevě
$\beta_c$	Součinitel splňující amplitudy zakřivení měřené uprostřed mezi podporami
$\beta_w$	Korekční součinitel
$\gamma_M$	Dílčí součinitel spolehlivosti materiálů pro dřevo
$\gamma_{M0}$	Dílčí součinitel spolehlivosti materiálů pro únosnost průřezů kterékoliv

	třída
$\gamma_{M1}$	Dílčí součinitel spolehlivosti materiálů pro únosnost při posuzování stability prutů
$\gamma_{M2}$	Dílčí součinitel spolehlivosti materiálů pro únosnost při porušení oslabeného průřezu v tahu; pro únosnost šroubů, svárů, plechů v otláčení
$\lambda_{rel,y,z}$	Relativní štíhlost prutu
$\lambda_{y,z}$	Štíhlost prutu
$\bar{\lambda}_z$	Poměrná štíhlost u ocelí
$\rho_k$	Charakteristická hustota dřeva
$\sigma_{c,0,d}$	Návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny
$\sigma_{m,y,z,d}$	Návrhové napětí v ohybu k hlavním osám
$\sigma_{t,0,d}$	Návrhové napětí v tahu
$\sigma_w$	Návrhové napětí v ohybu ve sváru
$\tau_d$	Návrhové napětí ve smyku
$\tau_{II}$	Smykové napětí rovnoběžné s osou sváru
$\Phi$	Součinitel pro výpočet součinitele vzpěrnosti $\chi$
$\chi$	Součinitel vzpěrnosti při posuzování ocelí
$\psi_0$	Součinitel pro kombinační hodnotu proměnných zatížení
$\psi_2$	Součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení

## Kapitola 7.:

Hodnoty z kapitol 5. a 6. se již zde neopakují.

$A_{eff}$	Efektivní plocha patky
$I_w$	Moment setrvačnosti svarového obrazce
$M_{sd}$	Návrhová hodnota ohybového momentu od horizontální síly působící svarový obrazec
$N_{c,d}$	Návrhová hodnota tlakové síly
$N_{R,d}$	Návrhová únosnost betonu pod patním plechem
$V_{sd}$	Návrhová hodnota horizontální síly
$a$	Šířka patního plechu
$a_w$	Účinná tloušťka sváru
$a_1$	Započitatelná šířka patky
$b$	Délka patního plechu
$b_1$	Započitatelná délka patky
$c$	Účinná konzola patního plechu
$f_{ck}$	Charakteristická pevnost betonu v tlaku

$f_{cd}$	Návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_{jd}$	Návrhová pevnost betonu ve spáře
$h_{IPE,c}$	Výška zarážka, na kterou působí horizontální síla
$h_{min}$	Minimální výška smykové zarážky
$h_p$	Výška podlité
$k_j$	Součinitel koncentrace
$l_z$	Délka smykové zarážky
$t_f$	Tloušťka pásnice
$t_p$	Tloušťka patního plechu
$\beta_j$	Součinitel vlivu podlité
$\gamma_c$	Dílčí součinitel pevnost betonu
$\mu$	Součinitel tření mezi betonem a ocelí
$\sigma_{\perp,2}$	Normálové napětí kolmé k účinné rovině koutového svaru
$\tau_{\perp,2}$	Smykové napětí kolmé k ose svaru

# 1 Úvod

Dřevo je spolu s kamenem nejstarším stavebním materiálem. Jeho použití sahá až do pravěku a první zmínky o dřevěných konstrukcích spadají do střední a starší doby kamenné. Až do konce 18. století byly kámen a dřevo jedinými stavebními materiály. V 19. století v době industrializace však došlo k vývoji nových stavebních technik, objevu nových stavebních materiálů a použití dřeva jako stavebního materiálu se dostávalo do pozadí. Postupem času zejména v období krizí a světových válek bylo dřevo pro nedostatek stavebních materiálů, jako je beton a ocel, opět vyžadováno, jelikož se jednalo o domácí a jednoduše dostupný stavební materiál. Nicméně v poválečném období až do konce osmdesátých let došlo opět k útlumu. Následující roky a především na počátku 21. století dřevo opět získává svůj potenciál. Je to dáno trendem jednodušších konstrukcí a architektury, nižších energetických standardů, vývojem nových stavebních materiálů na bázi dřeva a zejména pohledem člověka na životní prostředí. Dřevo je plně obnovitelný stavební materiál a jeho použití nemá na rozdíl od použití jiných stavebních materiálů nepříznivý vliv na životní prostředí.

Dřevostavby jsou v České republice rozšířené zejména u rodinných domů a tento trend stále narůstá. Zastoupení vícepodlažních budov na bázi dřeva v České republice je minimální na rozdíl od Skandinávie, Velké Británie a západních zemí Evropy, kde v některých lokalitách vznikají unikátní projekty sídlišť a vesniček s tímto typem obytných domů. V těchto zemích je však tradice výstavby vícepodlažních domů daleko delší než u nás, kdy první realizace například ve Velké Británii spadají do poloviny 20. století. Na území České republiky došlo k první výstavbě dvoupodlažního bytového domu na bázi dřeva až koncem 70. let 20. století. Důvodem minimálního zastoupení vícepodlažních budov v České republice je pravděpodobně strach z vysoké hořlavosti dřeva a převládajícím názorem, že dřevo je nekvalitní, málo odolný materiál.

Montované stavby na bázi dřeva mají ale nespočetně výhod, které již veřejnost nebere v potaz. Patří mezi ně rychlost výstavby, nesezónnost výstavby, kdy se dá stavět v podstatě za každého počasí, dále pak vysoký stupeň lehké prefabrikace, nižší zatížení stavby na základ, dobré účinky na vnitřní klima, zvýšení pocitu tepla v interiéru a nakonec výborné stavebně fyzikální vlastnosti.

Předmětem této práce je tedy navrhnout vícepodlažní obytný dům na bázi dřeva s konstrukčním systémem těžkého skeletu. V rámci práce bude nejen navrhnutá celková dispozice bytového domu, ale také navrženy a posouzeny nejdůležitější prvky nosného systému včetně ztužení a kotvení. Nakonec bude ještě navržen a popsán také montážní postup skeletového systému domu.

## **2 Rešerše nosných systémů staveb pro bydlení na bázi dřeva v ČR v současnosti**

Nosné systémy na bázi dřeva v České republice nemají takovou tradici jako například ve Skandinávii, Severní Americe, či některých západních zemích Evropy jako jsou Rakousko, Německo či Švýcarsko. Na území bývalého Československa a dnešní České republiky však dřevostavby také najdeme. Jedná se ale především o rodinné domy typu bungalov nebo maximálně rodinné či bytové domy o dvou podlažích. Více než dvoupodlažní budovy na bázi dřeva u nás bohužel moc nevyskytují. Z tohoto důvodu budou v následujících kapitolách uvedeny příklady nosných systému nejen z České republiky, ale také ze zahraničí.

Nosné systémy obytných budov jsou obecně rozděleny na systémy tradiční a novodobé. Mezi tradiční konstrukční systémy mohou být zařazeny systémy srubové a hrázděné. Za zmínku stojí také sloupkové systémy Platform – Frame a Balloon – Frame, které se však objevují v severní Americe a v anglosaských zemích, na území České republiky je nenajdeme. Mezi novodobé systémy mohou být zařazeny rámové stavby, těžké skeletové stavby a stavby z masivního dřeva. Tyto systémy se od tradičních liší jak konstrukcí, tak vzhledem. [1]

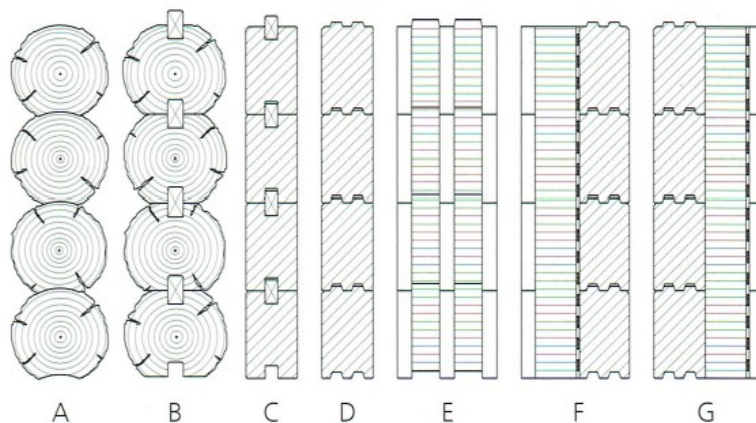
### **2.1 Srubové a roubené stavby**

Srubové stavby se mohou těšit dlouholetou tradicí a dřevostavby s tímto systémem se staví dodnes. Jedná se o systém, který tvoří jakýsi pilíř pro všechny stavby tvořené z prvků z masivního dřeva. Srubové stavby se ve světě vyskytují převážně v Rusku, Severní Americe, Skandinávii, hojně v oblastech rakouských, švýcarských či německých Alp a dalších zemích s vysokým pohořím. V České republice jsou k vidění převážně v horských oblastech, zastoupení mají ale také v nižších oblastech, kdy si srubové stavby žádá víc a víc uživatelů jako stavby pro bydlení. [1], [2]

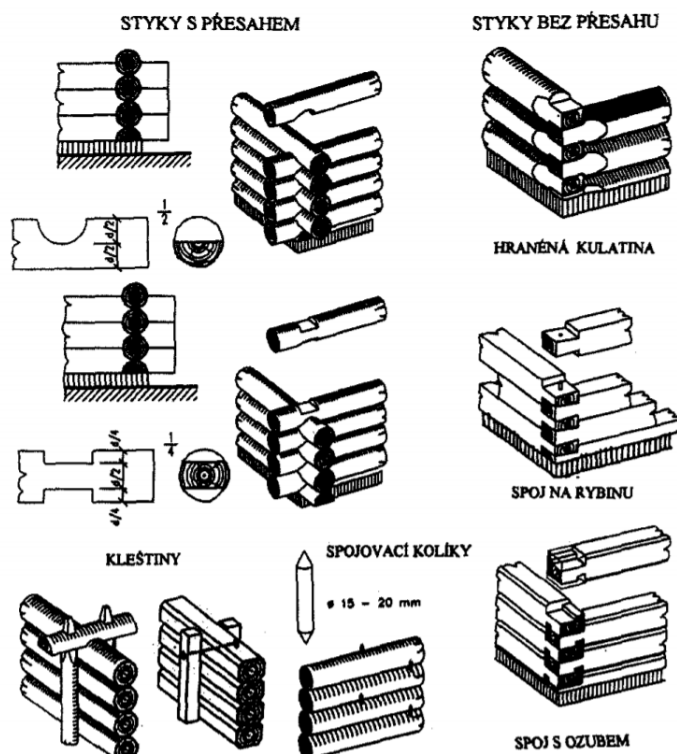
Hlavní nosným prvkem srubových staveb jsou tzv. roubené stěny, které tvoří vodorovně na sobě uložené trámy. První vazbou byly pravděpodobně pouze na sobě uložené kulatiny s jednoduchým přesahem v nároží, kdy vybočení trámů z roviny stěny zajišťovaly svisle zaražené kolíky. Dalším jednoduchým, ale účinným typem vazby bylo vytvoření žlábků s poloměrem kulatiny na spodní straně shora nasedajícího trámu. Následovaly další typy vazeb jako pero – drážka, hřeben – drážka a také trámy už nebyly pouze kulaté, ale také hraněné. S vyššími nároky na tepelnou ochranu budov stěny roubených a srubových staveb už netvořily pouze vodorovně vrstvené trámy, ale přidávaly se další vrstvy jako izolace a dřevěné obklady. S vývojem také došlo i na prefabrikaci celých stěnových dílců. Vývoj stěn nejlépe vystihuje obrázek 2-1. Nárožní tesařské styky se konstruovaly jak s přesahem, tak bez přesahu. Asi nejběžnějším a nejdéle užívaným spojem byl spoj na rybinu, kdy zhlaví horního a

dolního trámu bylo proti sobě šikmo zkosené, čímž se zachytily vodorovné síly ve spoji a bylo tak zamezeno vybočení trámů z roviny stěny. Další nárožní styky jsou vidět na obrázku 2-2. [1]

Největšími nevýhodami tohoto nosného systému je vysoká spotřeba dřeva a celkové sedání stavby, kdy se musí počítat se sednutím až 25 mm na každé podlaží. [1]



Obrázek 2-1. Vývoj stěny srubových a roubených staveb. A - kulatina se žlábkem. B – Kulatina s ložnými plochami a pery v drážkách. C – Hranoly spojené drážkou a perem. D – Hranoly spojené drážkou a hřebenem. E – Prefabrikované sendvičové prvky. F, G – Tepelně izolované srubové stěny, kdy je stěna z masivního dřeva viditelná uvnitř nebo z venku. [1]



Obrázek 2-2. Ukázka nárožních styků s přesahem a bez přesahu. [3]

V současnosti jsou srub a roubenka očima odborníků brány jako stavby s patrnými rozdíly, které je třeba zmínit. Prvním rozdílem je použití masivního dřevěného prvku. Zatímco u srubové stavby se používají kulatiny o průměru 30-40 cm, u roubené stavby se používají obvykle hranoly o šířce 20 – 25

cm. Dalším důležitým rozdílem je samotná výroba. V našich krajích se srubové stavby vyrábějí především manuálně, tedy za pomoci pily a ručního nářadí, a to převážně ze smrkových kulatin. U roubených staveb je již možná prefabrikace z lepeného dřeva za pomoci CNC stroje. Posledním důležitým aspektem, který je třeba zmínit, je doba výstavby. Srubové stavby se musí po dokončení montáže nechat stát asi 6 měsíců z důvodů vyschnutí a sednutí, teprve po této době je možné osadit okna. U roubených staveb technologická doba pro vyschnutí a sednutí odpadá a díky přesnosti prefabrikace je možné okna vyrobit dříve a osadit je rovnou. [4]



Obrázek 2-3. Typická srubová stavba. [5]



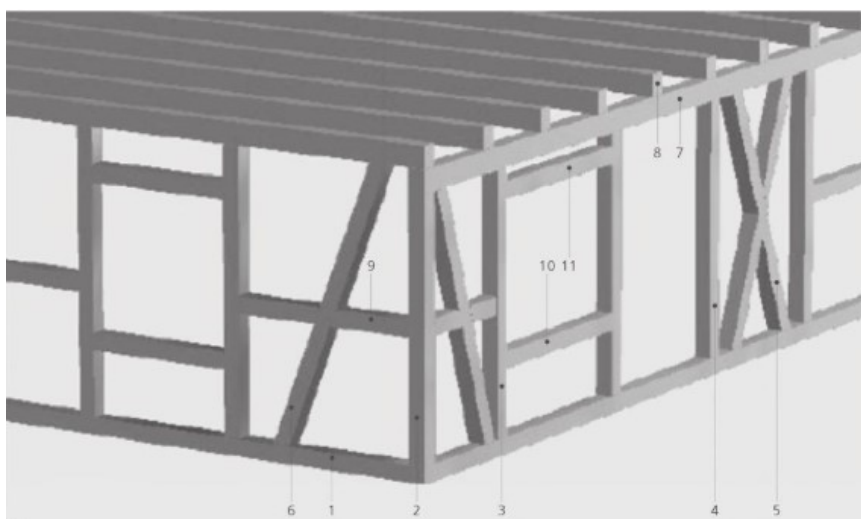
Obrázek 2-4. Typická roubená stavba. [6]



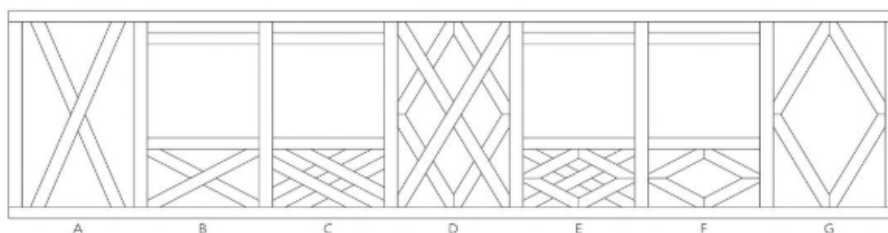
## 2.2 Hrázděné stavby

Hrázděná stavba je jeden z tradičních konstrukčních systémů a je důležité jej zmínit, protože jeho úpravou se vyvinuly další modernější konstrukční systémy. Hrázděné stavby byly rozšířeny zejména ve východní a střední Evropě, Nizozemsku, Dánsku, Anglii, severním Německu a Severní Francii. Na území České republiky jsou dodnes k vidění krásné historické hrázděné stavby například Maměnka a Libušín na Pustevnách, nebo další domy v Luhačovicích od architekta Dušana Jurkoviče (obrázek 2-7). Další hrázděné stavby jemožné také vidět například na Slovensku v oblasti Vysokých Tater ve Starém Smokovci a Tatranské Lomnici od architekta Quida Hoepfnera. [1], [7], [8]

Jedná se o systém z hranolových prvků, které jsou spojovány pomocí tesařských spojů, který se používal nejen pro jedno či dvou podlažní budovy, ale také vícepodlažní. Hranolové prvky tvoří nosnou kostru, která musí přenést jak zatížení svislé, tak vodorovné. Nosnou konstrukci tvoří vodorovný práh, sloupky, stojky, vzpěry, příčky a stěnová vaznice případně horní rám. Konstrukce tak vizuálně tvoří dle uložení vzpěr čtverce, obdélníky, lichoběžníky (obrázek 2-5.) a u tradičních staveb mohou vzpěry vytvářet různé ozdobné elementy (obrázek 2-6). Nosná konstrukce byla vyplněna vyzdívkou nejprve z cihel nepálených a později pálených a byla celá příznána. V druhé polovině 19. století se však nosné konstrukce spolu s výplní začaly omítat a s příchodem nových stavebních systému zakrývat. Dnes se hrázděné stavby používají v případě výstavby jednoduchých účelových konstrukcí a to maximálně dvoupodlažních, kdy je většinou nosná konstrukce zakryta. [1]



Obrázek 2-5. Systémové prvky nosné konstrukce, 1 – práh, 2 – rohový sloupek, 3 – okenní sloupek, 4 – dveřní sloupek, 5 – Ondřejův kříž, 6 – šikmá vzpěra, 7 – horní rám, 8 – nosník, 9 – příčka, 10 – parapetní příčka, 11 – překladová příčka. [1]



Obrázek 2-6. Využití vzpěr k tvorbě různých ozdobných elementů. A, B – Ondřejův kříž, asi nejpoužívanější ozdobný element. [1]

Jedním z problémů u hrázděných staveb je jejich velké sedání, jelikož jsou deformace dřeva vlivem bobtnání a sesychání v radiálním a tangenciálním směru daleko větší než ve směru podélném. Proto je nutné sedání omezit omezením použití vodorovných prvků a zajištěním dostatečného vysušení dřevěných prvků. [1]



Obrázek 2-7. Jurkovičův dům v Luhačovicích. [9]

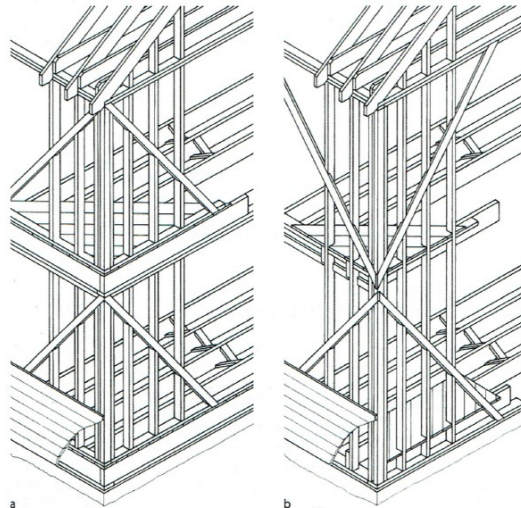
### 2.3 Sloupkové systémy Platform – Frame a Balloon – Frame

Tyto dva konstrukční systémy se do vědomí evropských občanů dostaly v průběhu první poloviny 20. století s příchodem prvních přistěhovalců ze Severní Ameriky, kde se vyvinuly. Nosnou konstrukci tvoří sloupky ze stejných průřezů v malých vzdálenostech, které jsou vespod a nahoře uzavřeny prahy a vaznicemi. Oproti hrázděným stavbám jsou sloupkové systémy vyztuženy venkovním bedněním, deskami z masivního dřeva nebo jinými deskami na bázi dřeva. [1]

Systém **Balloon – Frame** tvoří sloupky procházející průběžně přes dvě podlaží. Uzavření tvoří vaznice v prvním i druhém podlaží, které jsou vloženy do zářezů ve sloupech (obrázek 2-8.b).[1]

Systém **Platform – Frame** je dodnes běžně užívaný systém pro jedno a dvoupodlažní domy v severní Americe. Sloupky již nejsou průběžné přes dvě podlaží, ale v každém podlaží jsou uzavřeny vysokými vaznicemi (obrázek 2-8.a). [1]

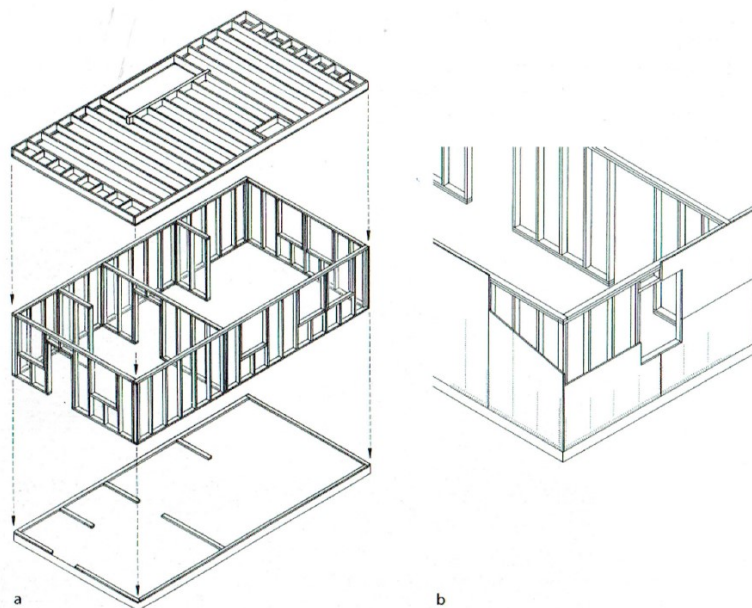
Dnes se sloupkové systémy v Evropě nepoužívají, postupně byly nahrazeny stavbami rámovými. [1]



Obrázek 2-8. V části a je vidět systém Platform – Frame se sloupky pro každé podlaží, v části b je pak vidět průběžné sloupky přes dvě podlaží systému Balloon – Frame. [2]

## 2.4 Rámové stavby

Rámové stavby někdy také označovány jako **lehké dřevěné skelety** jsou konstrukce, které se vyvinuly ze sloupkových systému Balloon – Frame a Platform – Frame. Jedná se o nejpoužívanější způsob stavění dřevostaveb nejen v České republice, ale také v Evropě a v zámoří. Nosnou konstrukcí rámových staveb tvoří tyčová kostra ze štíhlých průřezů přenášející svislá zatížení ze střechy a mezipatrových stropů. Vzdálenost sloupků je asi 500 až 700 mm, většinou pak 625 mm. Na tyčovou kostru je z vnější i vnitřní strany uložen plášť z desek na bázi dřeva, popřípadě desek z masivního dřeva přenášející vodorovná zatížení od větru a výztužných sil (obrázek 2-9.). Desky jsou pak chráněny trvanlivou krycí vrstvou. Krycí vrstvu povětšinou už netvoří jen trvanlivý nátěr, ale jedná se o kombinace tepelné izolace s omítkou případně jiné kompaktní zateplovací systémy. Vnitřní krytí je pak převážně tvořeno ze sádrovláknitých a sádrokartonových desek opatřených omítkou. Systémy krytí, jejich vývoj, podoba, složení vrstev bývají však pro každou zemi jiné. [1]



Obrázek 2-9. Rámová stavba, a – nosná kostra z tyčových prvků, b – výztužné opláštění. [2]

Rámové stavby lze rozdělit z hlediska výroby do tří organizačně – technologických forem:

První z forem je **staveništní – řemeslná**, kdy jsou z hoblovaných odzkoušených prvků montovány stropy a stěny. Výhodami jsou individuální projektové řešení a menší investiční nároky. Nevýhodou je však delší doba výstavby. [3]

Další formou je **průmyslová výroba panelů**. Jedná se o mechanizovanou nebo automatizovanou výrobu stěnových, stropních a střešních) panelů na výrobní lince. Výrobní styky jsou podobné jako u staveništní formy, ale montážní styky jsou již jiné, jelikož se jedná o panely, které jsou zevnitř nepřístupné. Tato varianta se používá nejčastěji pro řešení rodinných typových domů. Výhodou je především urychlení doby výstavby. [3]

Poslední formou je **výroba prostorových jednotek**. Výroba je podobná jako průmyslová, avšak stěny a stropy bývají zdvojené a mají specifické montážní styky. Tato forma se dnes moc nepoužívá, protože jsou touto formou dost omezena dispoziční řešení, používají se tak spíše jen pro jednoduché a dočasné stavby. [3]

Zlomem pro výstavbu rámových staveb u nás jsou 70. léta 20. století. Začaly se na našem území totiž realizovat rodinné a dvoupodlažní bytové domy typu OKAL. Název je odvozen od německé firmy, od které národní podnik Rudné Doly Jeseník, dnešní RD Rýmařov, licenci na výstavbu tohoto typového domu zakoupil. Jedná se o rámovou stavbu, u které vnější plášť tvořily azbestocementové desky a vnitřní tvořily dřevoštěpkové desky. Prostor mezi vnějším a vnitřním pláštěm byl vyplněn tepelnou izolací. Na území České republiky a v zahraničí bylo dohromady postaveno asi 20 tisíc těchto domů. Tyto domy jsou v podvědomí také kvůli zprávám o jejich negativním účinku na lidské zdraví z důvodu použití právě azbestocementových desek a formaldehydového lepidla, protože jejich částičky a prach

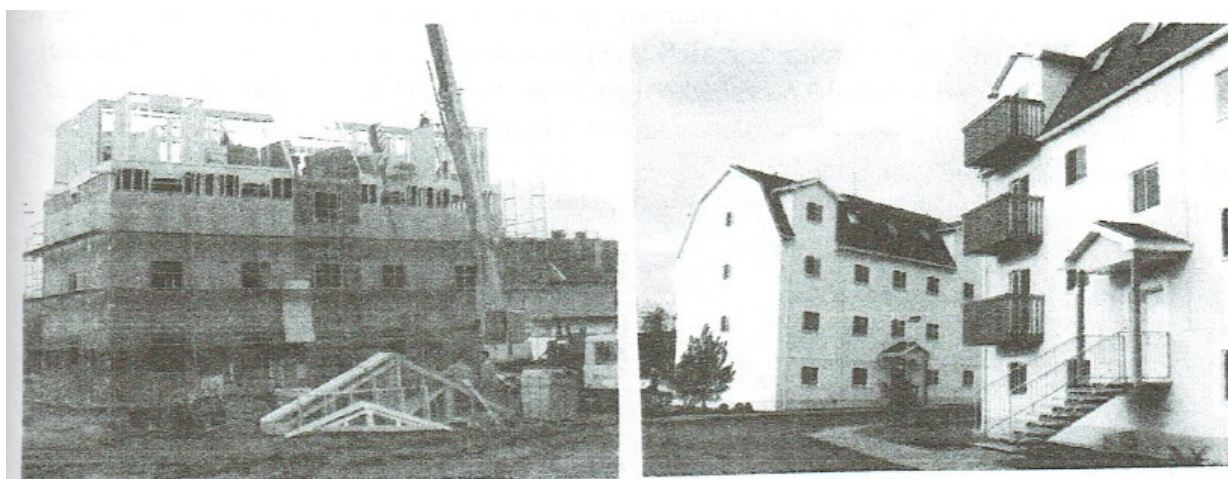


mají negativní vliv na zdraví lidí. Dnes se už původní okálové domy nestaví a původní skladby jsou již nahrazeny novými materiály na bázi dřeva. [10], [11]



Obrázek 2-10. Rodinný dům typu Okál. [12]

V současnosti jsou rámové stavby jedním z nepoužívanějších konstrukčních systémů dřevostaveb u rodinných domů na našem území. Použití konstrukčního systému rámové stavby u bytových vícepodlažních domů ale tak pozitivní není. Zájem investorů o konstrukční systémy na bázi dřeva je u těchto typů staveb minimální. Jako příklad může být uvedena výstavba bytových domů v Králově Dvoře z roku 2002 (obrázek 2-11), kde byly postaveny čtyřpodlažní dřevěné bytové domy se zděným přízemím. Další příklady mohou být od firmy RD Rýmařov, která realizovala komplexy bytových domů v Dolních Heršpicích z roku 2009 a 2017, v Chýni u Prahy z roku 2008 a také další komplexy v Polsku a Rakousku. [3], [13]



Obrázek 2-11. Bytový dům v Králově Dvoře s konstrukčním systémem rámové stavby v době jeho výstavby a zhotovení. [3]

## 2.5 Skeletové stavby

Systém dřevěného skeletu patří mezi nejstarší konstrukční systémy. Jako první těžší skelety můžeme považovat svíslé zahrabané sloupy, kdy se do vidlice z uřezaných větví na horním konci sloupu vkládala příčná dřeva. Jako výplň sloužilo pletivo z větví s povrchovou úpravou z hlíny. Na tento systém postupně navazovaly hrázděné stavby, ze kterých se pak vyvinul samotný rastrový skeletový systém, do něhož lze vsadit vnitřní i obvodové stěny v různém uspořádání. [1]

Novodobé těžké dřevěné skelety jsou v dnešním pojetí brány jako konstrukce, které jsou tvořeny ze sloupů, nosníků a výztužných prvků v pravidelném rastru. Rastrový rozměr je různý, většinou bývá od 2 do 6 m ve vodorovném směru a ve svíslém směru dle zvolené konstrukční výšky podlaží. Výběr použitého rastru také závisí na geografické poloze stavby, dostupnosti použitého materiálu a také na typu budovy, pro kterou má být rastr použit. Nosnou konstrukci tedy tvoří sloupy, nosníky a ztužení, které jsou společně označovány jako primární nosná konstrukce. Sekundární konstrukce je pak označení pro stropní konstrukce, které jsou tvořeny nosníky, či jinými plošnými prefabrikovanými konstrukčními prvky. Stěny jsou pak jako samostatný celek, který vytváří prostor, do nosného systému zabudovány nezávisle a nenesou žádné zatížení. Obvodové stěny mohou být pro jejich nezávislost na nosném systému nahrazeny velkoplošnými okenními a prosklenými plochami, což je jedna z hlavních domén tohoto nosného systému. Dalším charakteristickým znakem je přiznání nosné konstrukce v interiéru. [1]

U dřevěných skeletových staveb jsou prvky nosné konstrukce funkčně odděleny od konstrukčních prvků, které uzavírají prostor. Tak je konstrukce rozdělena na hlavní a vedlejší nosnou konstrukci. Vedlejší nosnou konstrukci tvoří trámové, prefabrikované nebo jiné konstrukční prvky stropů, které převádí zatížení právě ze stropů, stěn a střechy na hlavní nosnou konstrukci, tedy na sloupy a nosníky. Hlavní nosná konstrukce pak odvádí převzaté zatížení do základů. [1]

Velmi důležitou součástí skeletových staveb jsou konstrukční výztužné prvky. Ty se mohou dle směru, ve kterém se nachází, rozdělit na svíslé a vodorovné. Většinou se oba směry kombinují, protože ztužení pouze ve svíslém směru velice omezuje dispoziční návrh. Jako vodorovné výztužné prvky mohou být použity diagonální bednění, desky na bázi dřeva, diagonály z oceli, diagonály z rostlého dřeva či smykové stropní dílce. Jako svíslé se dají použít také prutové prvky z rostlého dřeva, či diagonály z oceli a plošné prvky jako ztužující prefabrikované stěny, železobetonová jádra a jiné. [1]

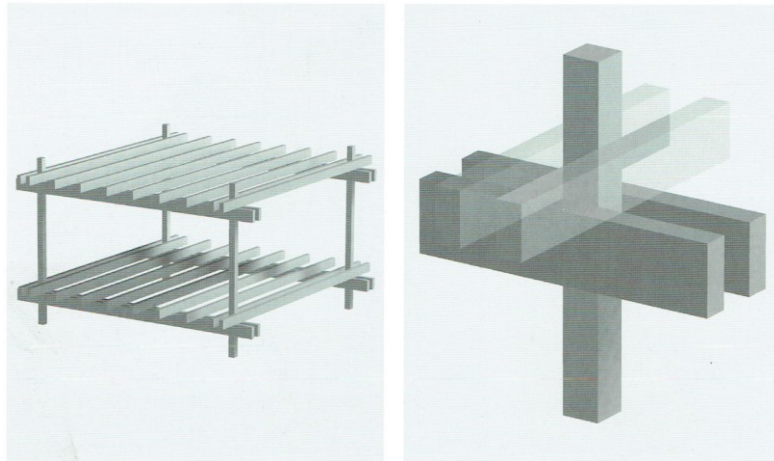
Na sloupy a nosníky se většinou používá lepené lamelové dřevo s třídou pevnosti GL24h nebo také rostlé a lepené dřevo s třídou pevnosti C24. Vodorovné a svíslé ztužující prvky pak mohou být nejen z prvků na bázi dřeva, ale také z oceli. [1]

Skeletové stavby se dají dle spojení sloupů a nosníku rozdělit na různé konstrukční typy:

- Sloup a dvojitý nosník
- Dvojitý sloup a nosník
- Nosníky uložené na sloupech
- Sloup a přilehlý nosník
- Vidlicový sloup

### Sloup a dvojitý nosník

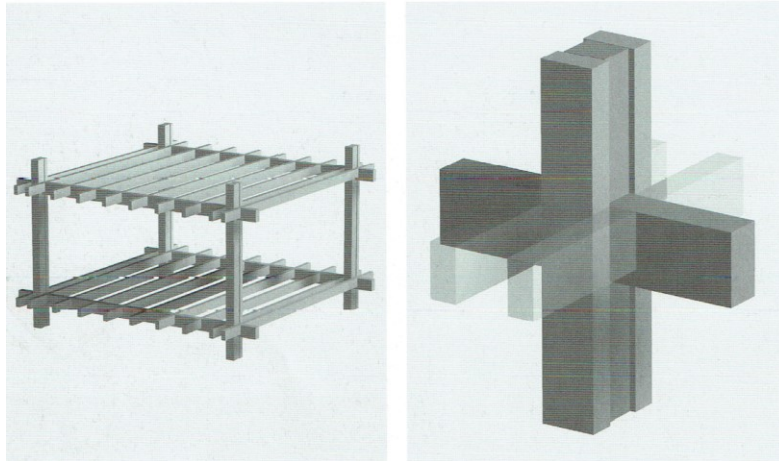
Hlavní nosnou konstrukci tvoří podle názvu jednodílný sloup a dvoudílný spojitý nosník, vedlejší nosnou konstrukcí tvoří stropní systémy, které se ukládají na nosníky hlavní konstrukce. Tento způsob však poměrně zvětšuje tloušťku mezipatrových stropů, ale i tak se používá z důvodu jednoduchých konstrukčních spojů a vede k celkové hospodárnosti systému. Někdy je také označován jako kleštinová konstrukce. Spoje jsou řešeny pomocí svorníků, přesných šroubů, vkládaných hmoždíků, lepených sloupů, ocelových profilů, svařovaných ocelových částí a ocelových profilů. [1]



Obrázek 2-12. Konstruktivní typ – sloup a dvojitý nosník. [1]

### Dvojitý sloup a nosník

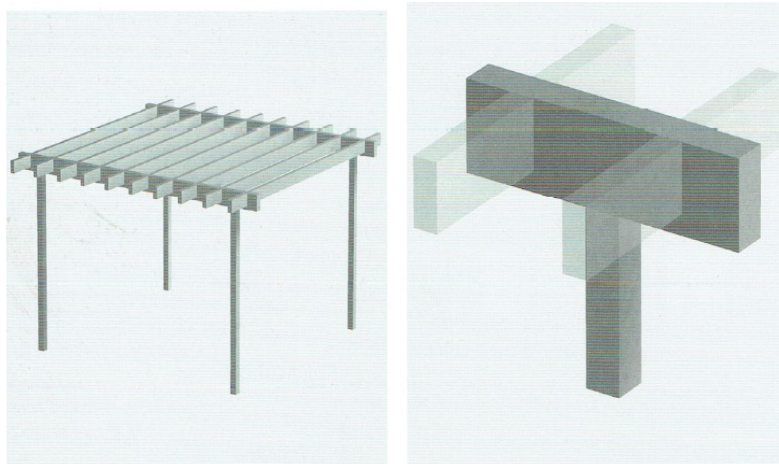
Hlavní nosnou konstrukci tvoří opět dle názvu jednodílný nosník, který je spojen mechanickými spojovacími prostředky s průběžným dvoudílným sloupem. Jednotlivé části sloupu ale bývají štíhlé, proto je nutné dát mezi ně vložku. Vedlejší nosná konstrukce je kvůli subtilnosti sloupových částí a jejich špatné odolnosti vůči hoření připojena v rovině s hranou nosníku, čímž je dosaženo nižší konstrukční výšky. Další výhodou je u použití vložky mezi částmi sloupu přenos svislých sil jejím prostřednictvím. Pokud se vložka nepoužije, jsou přípoje realizovány pomocí přesných svorníků, šroubů, vkládaných hmoždíků, zapuštění sloupů nebo pomocí ocelových svařovaných částí a svorníků. Přípoje stropního a hlavního nosníku jsou realizovány pomocí čepů, prvků z ocelových plechů a také uložením na hlavní nosník. Systém lze vidět na obrázku 2-13. [1]



Obrázek 2-13. Konstrukční typ – dvojitý sloup a nosník. [1]

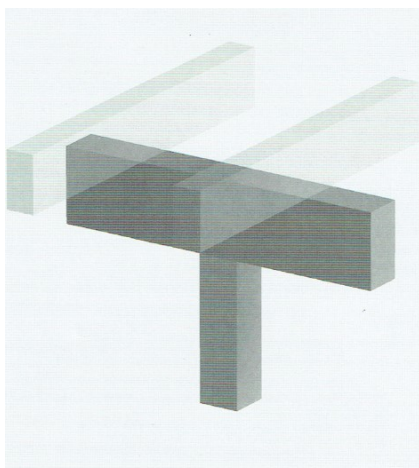
### Nosníky uložené na sloupech

Hlavní nosnou konstrukci tvoří nosníky uložené na sloupech, tento systém se hodí především pro jednopodlažní stavby s plochou střechou. Nosníky vedlejší nosné konstrukce se montují shora (obrázek 2-15) nebo z boku na nosníky hlavní nosné konstrukce (obrázek 2-14). Systém je specifický v tom, že nosníky a zhlaví sloupu hlavní nosné konstrukce namáhány tlakem kolmo k vláknům. Jako přípoje pro zajištění a přenos sil účinkem sání větru jsou použity zářezy a čepové spoje, vlepované závitové tyče, plechové spoje se svorníky a sedlo z tvrdého dřeva a příložky. [1]



Obrázek 2-14. Konstrukční typ - nosníky uložené na sloupech. Stropní nosníky připojené z boku na hlavní nosníky. [1]

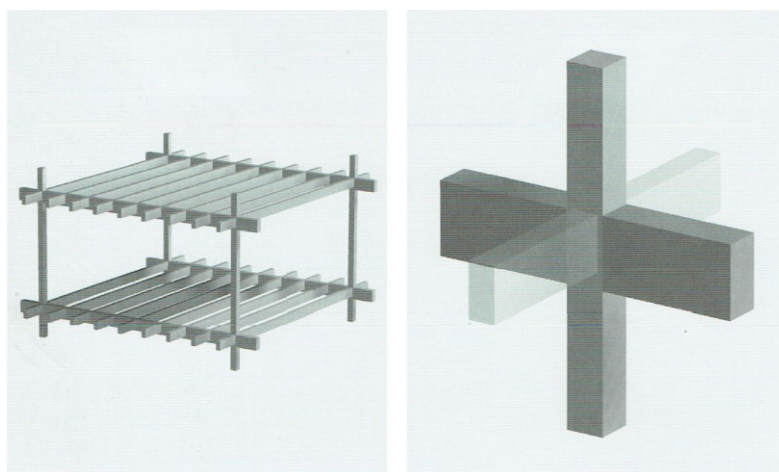




Obrázek 2-15. Konstrukční typ - nosníky uložené na sloupech. Stropní nosníky připojené shora na hlavní nosníky. [1]

### Sloup a přilehlý nosník

Hlavní nosnou konstrukci tvoří průběžné sloupy a nosníky, které jsou uloženy na průběžný sloup jako prostý nosník. Oba prvky hlavní nosné konstrukce leží ve stejné svislé rovině. Výhodami tohoto spoje jsou v možnosti připojení hlavních a vedlejších nosníků ze všech čtyř stran sloupu v jedné rovině a také v možnosti připojení sloupů v různé výšce. Systém je vhodný především pro budovy, ve kterých se obvodová stěna osazuje na nosný skelet zvenku. Nosníky vedlejší nosné konstrukce pak mohou být uloženy na stropní nosníky shora, nebo k nim mohou být připojeny z boku v jedné rovině. Pro hlavní nosníky a sloup jsou použity desky z oceli a svorníky, nebo konstrukční díly z profilového plechu, přichytek nosníku a rýhovaných hřebíků. Pro připojení hlavního nosníku a sloupu se mohou používat již sériově vyráběné konstrukční dílce např. systém JANEBO, INDUO nebo systém vložených plechů a kolíků BSB. Spojovací systémy pro připojení v jedné rovině mají zejména výhodu v rychlé montáži a vysoké únosnosti. [1]

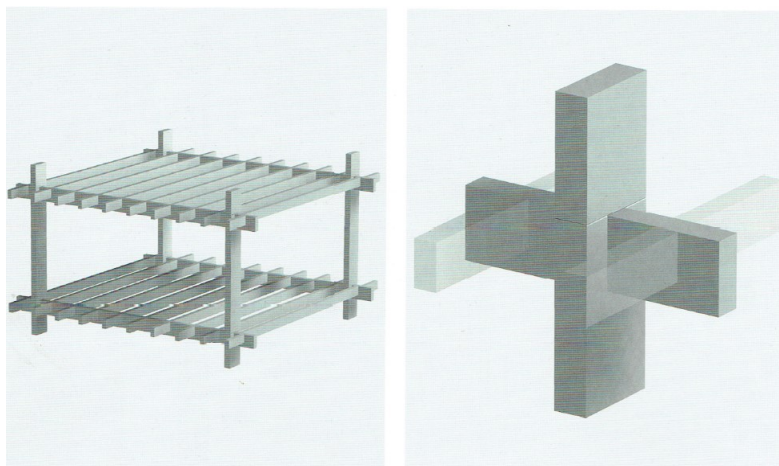


Obrázek 2-16. Konstrukční typ - sloup a přilehlý nosník. [1]

### Vidlicový sloup

Hlavní nosnou konstrukci tvoří průběžné jednodílné spojitě nosníky, které jsou uloženy v zářezu vidlicového sloupu. Výhodou je jednoduché chycení nosníku při montáži a také jednoduchý přenos

svislých zatížení. Nosník i sloup jsou podélné dřevěné prvky, což minimalizuje bobtnání a sesychání a také mají vysokou únosnost. Vedlejší nosníky pak mohou být uloženy v zářezech v hlavních nosnících. Pro spojení sloupu a nosníku se používají ocelové plechy, kolíky a přesné svorníky.[1]

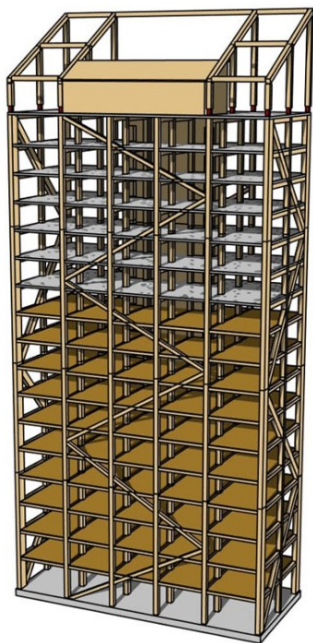


Obrázek 2-17. Konstrukční typ – vidlicový sloup. [1]

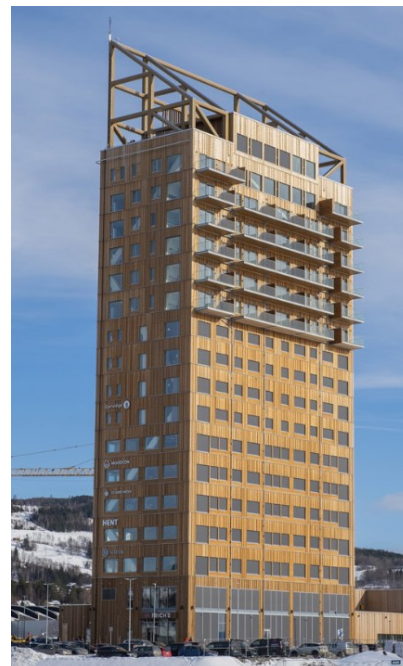
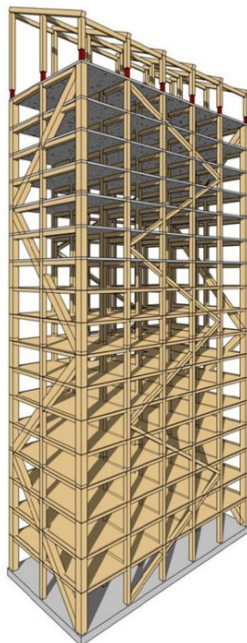
### Výstavba

I přes nespočet výhod se skeletové stavby v České republice moc nestaví a lze tento systém vidět ojedinele u některých rodinných domů. Tento systém se využívá hojně ve Skandinávii, Švýcarsku, ale také v Japonsku, Severní Americe, Kanadě. Použití je nejen pro rodinné domy, ale vícepodlažní systémy se dají využít pro bytovou a občanskou vybavenost, jako jsou například správní a administrativní budovy, školy apod. [1]

Jako příklad skeletového systému je zde uvedena nejvyšší dřevěná budova na světě Mjosa Tower. Jedná se o 18podlažní budovu o výšce 85,4 m, kdy nosnou konstrukci tvoří sloupy, nosníky a diagonály z lepeného lamelového smrkového dřeva. Její konstrukci lze vidět na obrázcích 2-18 a 2-19. [14].



Obrázek 2-18. Skeletový konstrukční systém Mjosa Tower s výztužnými diagonálami. [15]



Obrázek 2-19. Mjosa Tower po dokončení výstavby. [16]

## 2.6 Stavby z masivního dřeva

Jedná se o stavby, jejichž nosnou konstrukci tvoří plošné panelové dílce sestávající většinou z masivního dřeva. Dílce sestávají z fošen, prken příčně lepených nebo spojovaných hřebíky, kolíky a hmoždíky. Méně se pak vyrábí i dílce, které tvoří jen masivní dřevo, ale také desky na bázi dřeva např. OSB desky, třískové desky a jiné. Hlavní část nosného systému je tvořena nosným jádrem, které sestává právě z desek z masivního dřeva nebo desek na bázi dřeva. Tyto systémy tak tvoří výztužné tabule přenášející veškerá zatížení. Plošné prvky mohou být stěnové, stropní a také střešní. [1], [2]

Průřezy plošných prvků se mohou rozdělit na plné a složené. Plné se vyrábějí jako velkorozměrové plošné prvky a nemají dutiny. Složené průřezy se vykazují hlavně uzavřenými dutinami a jedná se nejen o dílce velkoplošné, ale také se vyrábějí ve formátu malých modulů nebo dílců v rastrovém rozměru. [1]

### 2.6.1 Plné průřezy

Převážně se jedná o jedno či vícevrstvé systémy, které jsou lepené z jednotlivých vrstev nebo křížově spojovány hřebíky, kolíky a hmoždíky. Lamely jsou většinou z jehličnatého smrkového nebo jedlového řeziva. Alternativou mohou být plošně lisované desky na bázi dřeva. Systém je stejný jak pro stropní tak stěnové panely, které se již vyrábějí včetně otvorů pro okna a dveře. Samotné plošné prvky pak tvoří dělicí konstrukce ohraničující prostor. Tyto panely se mohou skládat ze tří, pěti nebo více vrstev a na vnitřní straně mohou být přiznané nebo obložené, z vnější strany se pak na panely klade tepelná izolace s povrchovou úpravou. Křížově spojované desky se vyznačují velkou

rozměrovou stálostí, není tomu tak u panelů složených z jednotlivých svislých vrstev, u těchto systémů se na sesychání a bobtnání při návrhu klade velký důraz. Vlhkost dřeva konstrukčních prvků by měla později odpovídat ustálené rovnovážné vlhkosti. Vlhkost stěnových dílců odpovídá při zabudování asi  $12 \pm 2 \%$ , u stropních pak asi  $18 \%$ . [1], [2]

### Křížem slepené řezivo

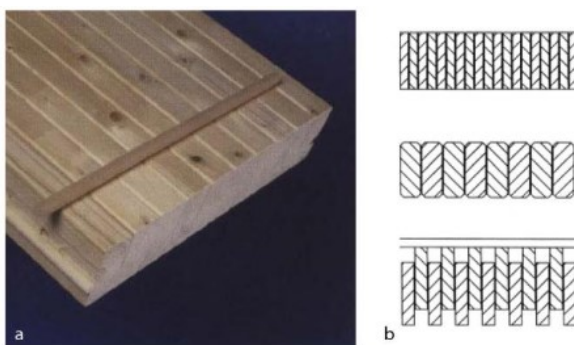
Jedná se o systém křížově lepených prken, které jsou kladeny vedle sebe a pro požadovanou délku mohou být nastaveny zubovitým spojem. Další vrstva se tvoří stejným způsobem a je kladena kolmo na vrstvu předchozí. Prkna a jednotlivé vrstvy jsou spojeny slepením. Někdy se také označuje jako CLT (cross laminated timber) nebo jako KLH (Kreuzlagedholz). Tloušťka plošných prvků se pohybuje od 50 do 300 mm. [1]



Obrázek 2-20. Ukázka křížem lepeného řeziva. [2]

### Vrstvené řezivo

Plošné dílce jsou tvořeny prkny nebo lamelami v poloze na stojato. Dle potřeby je možné prkna nastavovat zubovitým spojem. Tloušťky jednotlivých lamel jsou od 20 do 50 mm. Jednotlivé lamely mohou být mezi sebou spojovány kolíky, hřebíky a lepením. Tloušťka plošných prvků se pohybuje od 80 mm do 240 mm. [1]



Obrázek 2-21. Vrstvené řezivo, a – dílec vrstveného řeziva spojovaného kolíkem, b – možnosti vyskládání bloku z prken. [2]

### Křížově kolíkové dílce

Tyto plošné dílce tvoří jádro o tloušťce 60 až 80 mm ze stojatých fošen, na jádro jsou pak připojeny ve vodorovném, svislém a diagonálním směru vrstvy jehličnatých prken tloušťky 20 až 50 mm. Plošné dílce mají tloušťku od 150 do 400 mm, protože slouží také jako tepelná a zvuková izolace. [1]

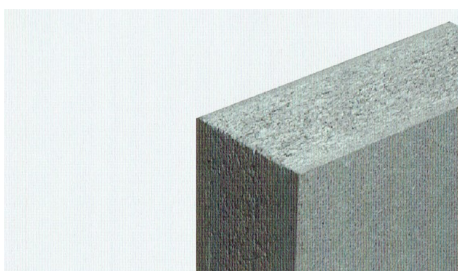




Obrázek 2-22. Element křížově kolíkovaného dílce venkovní stěny od firmy Thoma. [17]

### **Materiály na bázi dřeva**

Pro plošné dílce lze také použít plošně lisované desky nebo OSB desky v jedné nebo více vrstvách. U plošně lisovaných desek je běžná tloušťka 80 mm. Plošné dílce z OSB desek jsou tvořeny jejich vzájemným celoplošným slepováním, počet vrstev je od 3 do 10 a tloušťka jedné OSB desky je 25 mm. Tloušťka OSB dílců je tedy od 75 mm do 250 mm. Na vnější stranu plošných dílců z materiálu na bázi dřeva se ještě ukládá tepelná izolace s povrchovou úpravou, nebo přímo složené tepelně izolační systémy. [1]



Obrázek 2-23. Ukázka průřezu třískové desky. [1]

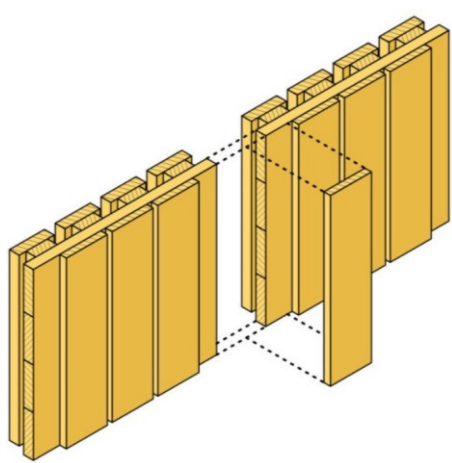
### **2.6.2 Složené průřezy**

V rámci vývoje staveb z masivního dřeva došlo také na tvorbu složených masivních konstrukčních částí, které jsou složeny z prken, stojin, lamel, lišt. Jednotlivé dřevěné prvky jsou většinou spojeny lepením. V plošných dílcích se nacházejí dutiny, které je možné využít pro rozvody technického vybavení budov a také pro zvukovou a tepelnou izolaci. Vnější izolace pak může být menších tloušťek než u systémů z plných průřezů. Dílce mohou být tvořeny jak svisle, tak vodorovně uloženými prvky, což zajišťuje jejich velmi dobrou rozměrovou stálost. U dílců pouze se svislými prvky se musí dbát na změny rozměrů průřezů vlivem bobtnání a sesychání. Plošné dílce se pak chovají jako výztužné stěny, které přenáší jak vodorovné, tak svislé zatížení. V případě vyšších soustředných zatížení se mohou do systému přidat ještě sloupy. [1]

#### **Systém příčného lepení s mezerami**

Plošné dílce tvoří křížem lepené vrstvy prken. Prkna v některých vrstvách jsou ukládány s odstupem, čímž se vytváří prostor pro rozvody technického zařízení budov a také pro tepelné a zvukové izolační materiály. Tyto plošné dílce mohou sloužit jako stěnové i stropní. Vnitřní strana stěny se dle uživatele

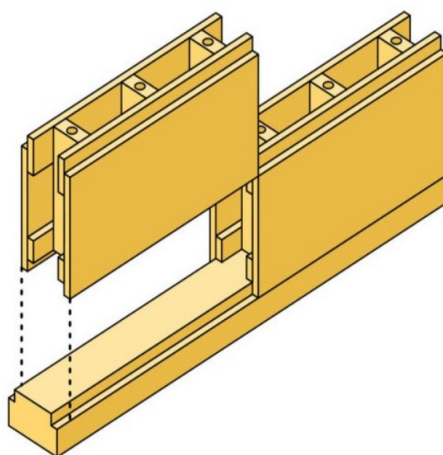
nechává viditelná nebo obložená. U stěnových dílců se pro vnější obklad používají podobné izolační systémy jako u systémů z plných průřezů. Příkladem může být například systém LignoSwiss nebo Lignotrend. [1], [18]



Obrázek 2-24. Příklad systému Lignotrend [18].

### **Dřevěný modulový – zásuvný systém**

Jedná se o moduly malého formátu z rostlého dřeva tvořící základní dílce. Tyto lehké elementy se zasunují do vazby v rastrovém rozměru. Konstrukční části jako moduly, práh, horní rám jsou vzájemně přizpůsobené a tvoří systém podobný stavebnici. Jednotlivé moduly jsou vícevrstvé a jednotlivé vrstvy jsou křížově spleené a převážně se vyrábějí s dutinami pro rozvody technického zařízení případně tepelnou a zvukovou izolaci, izolační systém z vnější strany stěny je tak možné redukovat. Vnitřní plocha stěny se opět dle uživatele nechává viditelná nebo obložená. Příklad může být například systém Steco.[1], [18]



Obrázek 2-25. Zásuvný modulový systém Steco [18]

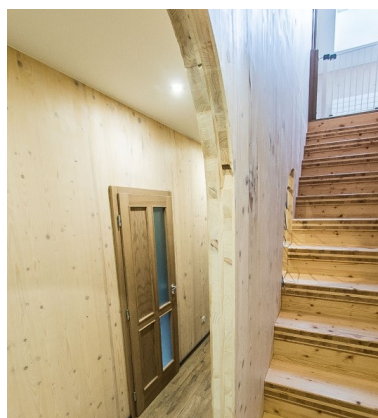
### **Výstavba**

Popsané systémy se využívají hojně ve Švýcarsku, Rakousku a Skandinávii a používají se především pro výstavbu rodinných a bytových domů, správních a administrativních budov a dále také u komerčních a veřejných staveb. V České republice se s tou výstavbou setkáme převážně u rodinných

domů. Jako příklad je zde uveden rodinný dům v Beskydech, který byl postaven firmou DŘEVOSTAVBY MC využívající osvědčený systém CLT panelů od české firmy NOVATOP.[1], [19]



Obrázek 2-26. Rodinný dům v Beskydech – CLT systém [19].



Obrázek 2-27. Detail vnitřní stěny systému CLT [19].

## 2.7 Statistika dokončených rodinných domů a dřevostaveb v roce 2018

V rámci rešerše nosných systémů na území České republiky je zde uvedena statistika postavených rodinných domů jako dřevostaveb od roku 2000 do konce roku 2018, další statistika uvádí procentuální zastoupení konstrukčních systémů dřevostaveb v České republice za rok 2018.

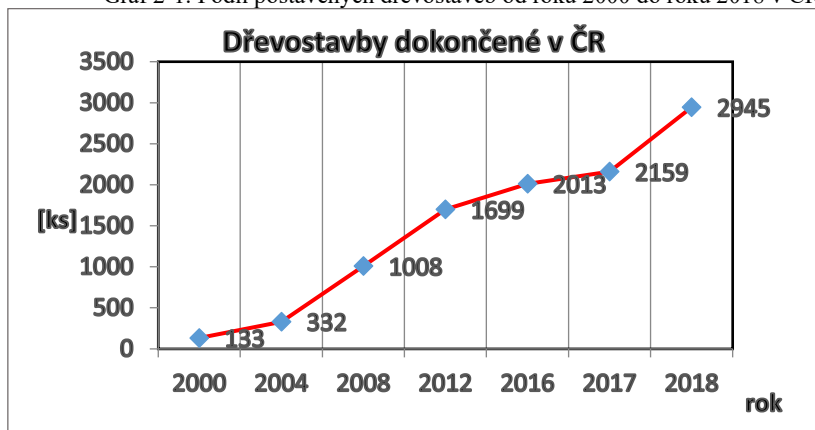
### Statistika dokončených rodinných domů a dřevostaveb od roku 2000 do roku 2018

Z tabulky 2-1. a grafu 2-1. je zřejmé, že podíl dřevostaveb u rodinných domů každým rokem narůstá. V roce 2018 měly dřevostavby u rodinných domů již 16 % zastoupení, což je oproti roku 2000 (1,4 %) velice významný posun. [20]

Tabulka 2-1. Celkový počet postavených rodinných domů v ČR od roku 2000 do roku 2018.

Rok	Rodinné domy v ČR celkem [ks]	Dřevostavby dokončené v ČR [ks]	Podíl dřevostaveb na trhu rodinných domů v ČR [%]
2000	9701	133	1,4
2004	12681	332	2,6
2008	18930	1008	5,3
2012	16929	1699	10,0
2016	14015	2013	14,4
2017	14548	2159	14,8
2018	18287	2945	16,1

Graf 2-1. Podíl postavených dřevostaveb od roku 2000 do roku 2018 v ČR.



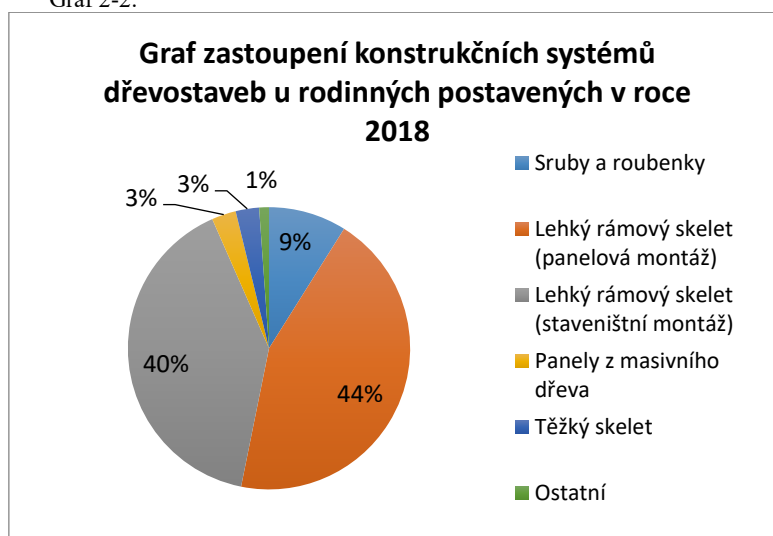
### Statistika konstrukčních systému dřevostaveb postavených v roce 2018

V tabulce 2-2. a grafu 2-2. lze vidět zastoupení jednotlivých konstrukčních systémů dřevostaveb u rodinných domů v České republice postavených v roce 2018. Z 84 % převládá systém lehkého rámového skeletu, z toho 44 % je postaveno panelovou montáží a 40 % je postaveno staveništní montáží. Na druhém místě jsou pak roubenky a sruby s 9 %, na třetím jsou panely z masivního dřeva a těžký skelet se 3 %. [20]

Tabulka 2-2. Podíl jednotlivých konstrukčních systémů postavených dřevostaveb v roce 2018.

Konstrukční systémy dřevostaveb za rok 2018	počet [ks]	zastoupení [%]
Sruby a roubenky	263	9
Lehký rámový skelet (panelová montáž)	1303	44
Lehký rámový skelet (staveništní montáž)	1185	40
Panely z masivního dřeva	82	3
Těžký skelet	79	3
Ostatní	33	1
Σ	2945	

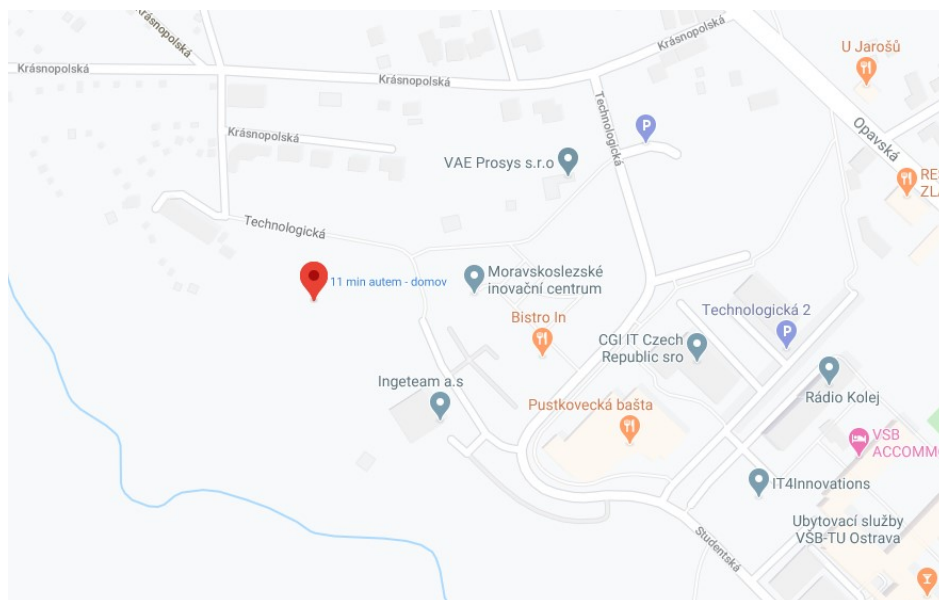
Graf 2-2.





### 3 Pětipodlažní obytný dům na bázi dřeva

Předmětem bakalářské práce je pětipodlažní dům na bázi dřeva, který byl situován v Ostravě městské části Poruba blízko areálu vysokoškolských kolejí Technické Univerzity Ostrava. Myšlená lokace domu lze vidět na obrázku 3-1.



Obrázek 3-1. Umístění pětipodlažního bytového domu. Mapa převzata z [21].

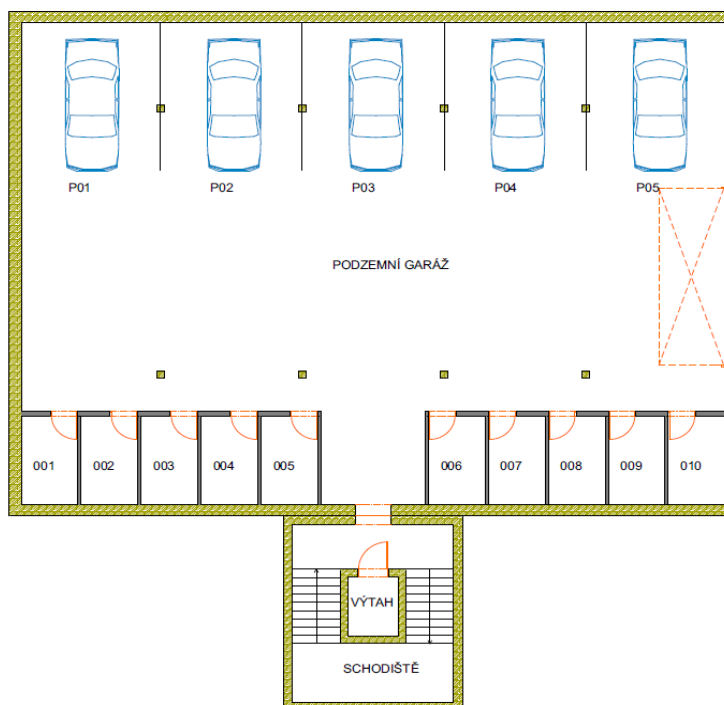
#### 3.1 Dispoziční řešení

Jedná se o pětipodlažní bytový dům, se čtyřmi nadzemními podlažími a jedním podzemním. V podzemním podlaží je situováno parkoviště a úschovné komory, ve zbývajících čtyřech patrech je dohromady deset bytových jednotek s balkóny. Na obrázku 3-2. lze vidět vizualizace bytového domu.



Obrázek 3-2. Model bytového domu vytvořený v softwaru Archicad [22].

V podzemním podlaží je situováno 5 parkovacích míst a 10 úschovných komor pro každý byt, což je vidět na obrázku 3-3.



Obrázek 3-3. Dispoziční řešení prvního podzemního podlaží. 001-010 – úschovné komory, P01-P05 – parkovací stání v softwaru [22].

V prvním a třetím nadzemním podlaží jsou situovány tři bytové jednotky. Jedná se o dva dvoupokojové byty s kuchyňským koutem a balkonem a jeden třípokojový byt s kuchyňským koutem a balkonem. Dispozici prvního a třetího nadzemního podlaží lze vidět na obrázku 3-4.



Obrázek 3-4. Dispoziční řešení prvního a třetího nadzemního podlaží vytvořené v softwaru [22].

Ve druhém a čtvrtém nadzemním podlaží jsou situovány dvě stejné bytové jednotky zrcadlově otočené. Jedná se o čtyřpokojové bytové jednotky s kuchyňským koutem a balkónem. Dispozice druhého a čtvrtého nadzemního podlaží lze vidět na obrázku 3-5.



Obrázek 3-5. Dispoziční řešení druhého a čtvrtého nadzemního podlaží vytvořené v softwaru [22].

### 3.2 Konstrukční systém

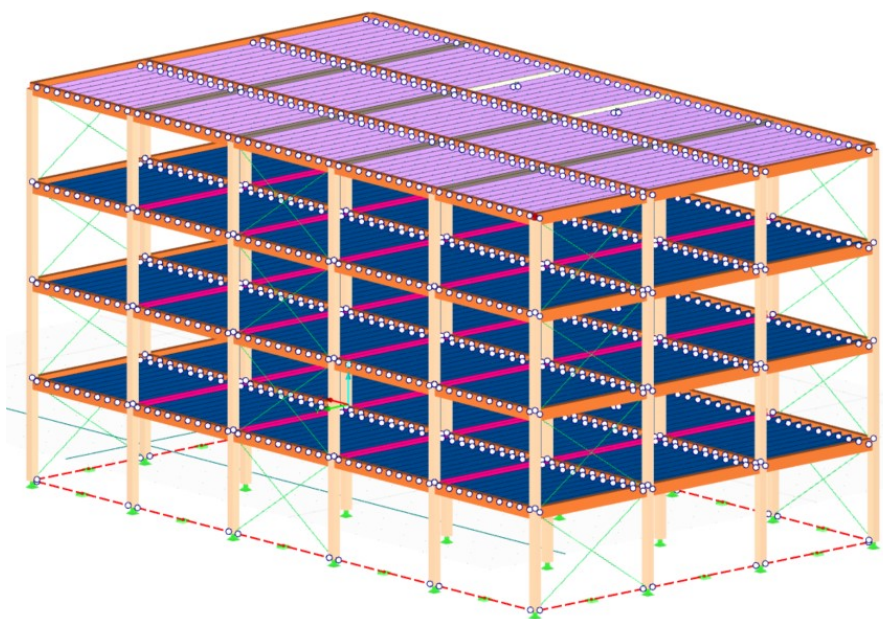
Konstrukce je tvořena materiály na bázi dřeva, ocelí a betonem. Betonové jsou základy, první podzemní podlaží a prostory výtahové šachty a schodiště. Konstrukce bytových prostor nadzemních podlaží tvoří materiály na bázi dřeva a ocel.

Jako nosný systém bytových prostor je zvolen těžký skelet z masivního dřeva. Tento systém se vyznačuje volnějším řešením dispozice. Konstrukční systém je zvolen jako podélný, kdy jsou stropní a střešní nosníky kloubově uloženy na průvlaky za pomoci ocelových třmenů, které jsou pomocí hřebíků ukotveny do průvlaků. Průvlaky jsou uloženy na sloupy také kloubově, kdy jsou na sloupy uloženy pomocí ocelového svařence a přichyceny pomocí vrutů. Ztužení konstrukce je zajištěno pomocí ztužidel dřevěného průřezu, které se nacházejí uvnitř budovy. V obvodovém plášti je ztužení zajištěno pomocí ocelových táhel, které jsou přichyceny k ocelovým plechům ve spojích sloupů a průvlaků. Dalším důležitým prvkem prostorové tuhosti jsou také OSB desky tvořící záklop stropních a střešních nosníků.

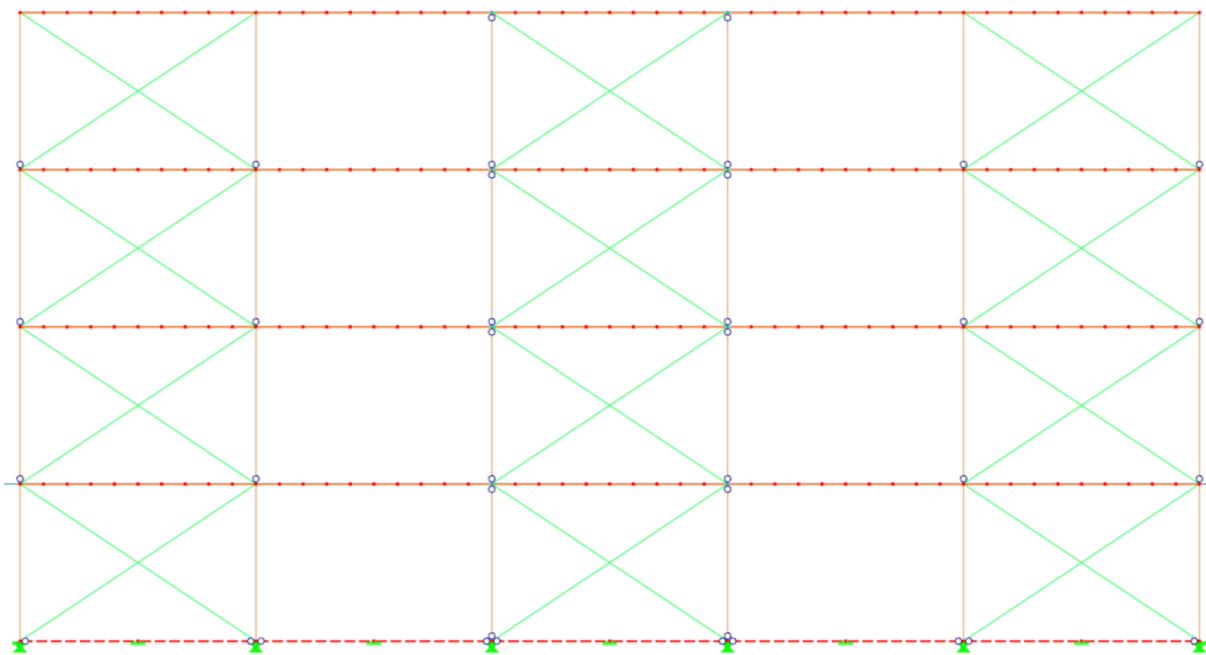
Balkony jsou řešeny jako samostatná rámová ocelová konstrukce, která je od dřevěného skeletu zcela oddílatována. Návrh a výpočet ocelové konstrukce a konstrukce z betonu není v rámci bakalářské práce řešen.

Výpočetní model konstrukce byl vytvořen jako prostorový model v softwaru RFEM [23]. Jak již bylo zmíněno výše, stropní a střešní nosníky jsou na průvlaky uloženy kloubově a průvlaky na sloupy také. Sloupy jsou v prvním nadzemním podlaží podepřeny kloubovou neposuvnou podporou, v dalších podlažích jsou nastaveny na začátku jako „vetknuté a na jejich koncích jsou klouby. Tuhost konstrukce je zajištěna pomocí kloubově uložených ztužidel dřevěného průřezu, ocelových ztužidel, které jsou v modelu nastaveny jako „tahové pruty“, a také pomocí OSB desek, které jsou v modelu jako plochy vymodelovány. Součástí ploch OSB desek jsou stropní nosníky, které jsou nastaveny v modelu jako „žebra“ plochy OSB desky. V prvním nadzemním podlaží jsou viditelné čárkovaně tuhé pruty, které jsou v modelu z důvodu vkládání zatížení vnějšího pláště, protože obvodový panel leží v prvním podlaží na betonové stropní desce. Tuhé pruty jsou kloubově uloženy a uprostřed vetknuty. Vetknuty jsou z důvodu nastavení volného otáčení prutu také ve směru x z důvodu zamezení vzniku ohybových momentů v tomto směru na konci prutu a ovlivnění tak vnitřních sil ve sloupech. Vetknutí uprostřed zajišťuje zamezení otáčení prutu kolem své vlastní osy a nedocházelo pak ve výpočtu k chybám vedoucím k singulární matici tuhosti konstrukce.

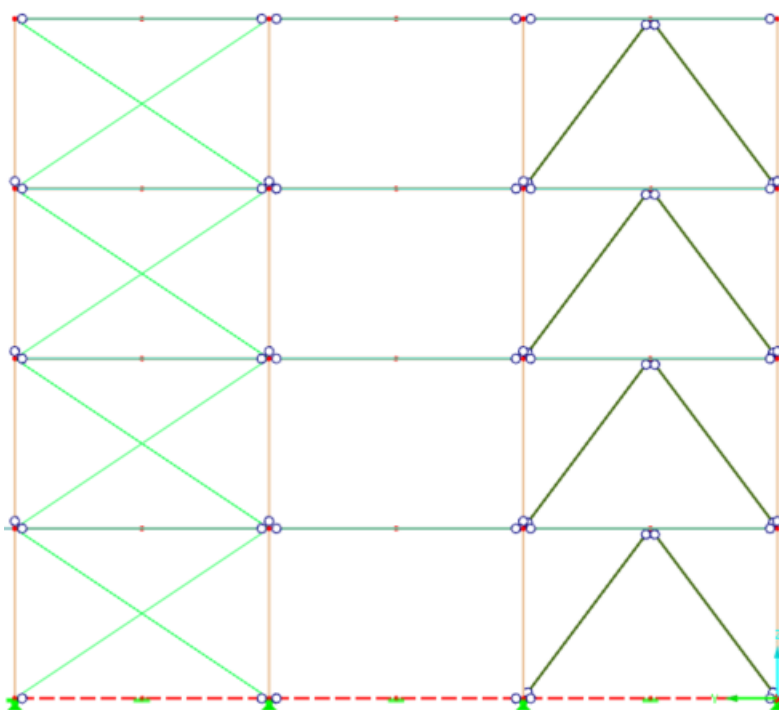
Pro orientaci v modelu konstrukce je nutné zvolit vhodné značení. Stropní a střešní nosníky mají na začátku značení značku ST, průvlaky značku PR, sloupy SL, ztužidla plného dřevěného průřezu ZT, tažené ocelové diagonály D. Za značkou následuje číslo podlaží (1, 2, 3, 4) a písmeno bloku stropních nosníků (A, B, C), u průvlaků a sloupů se jedná o písmena jedné linie průvlaků a sloupů (F, G, H, I). Za tečkou následuje číslo prvku, kdy jsou prvky číslovány při pohledu na půdorysný konstrukční výkres zleva doprava. Příklad značení je uveden z obrázku 3.9 červeně – ST3.B29 – stropní nosník nad 3. nadzemním podlažím v bloku stropních nosníků B na 29. místě zleva.



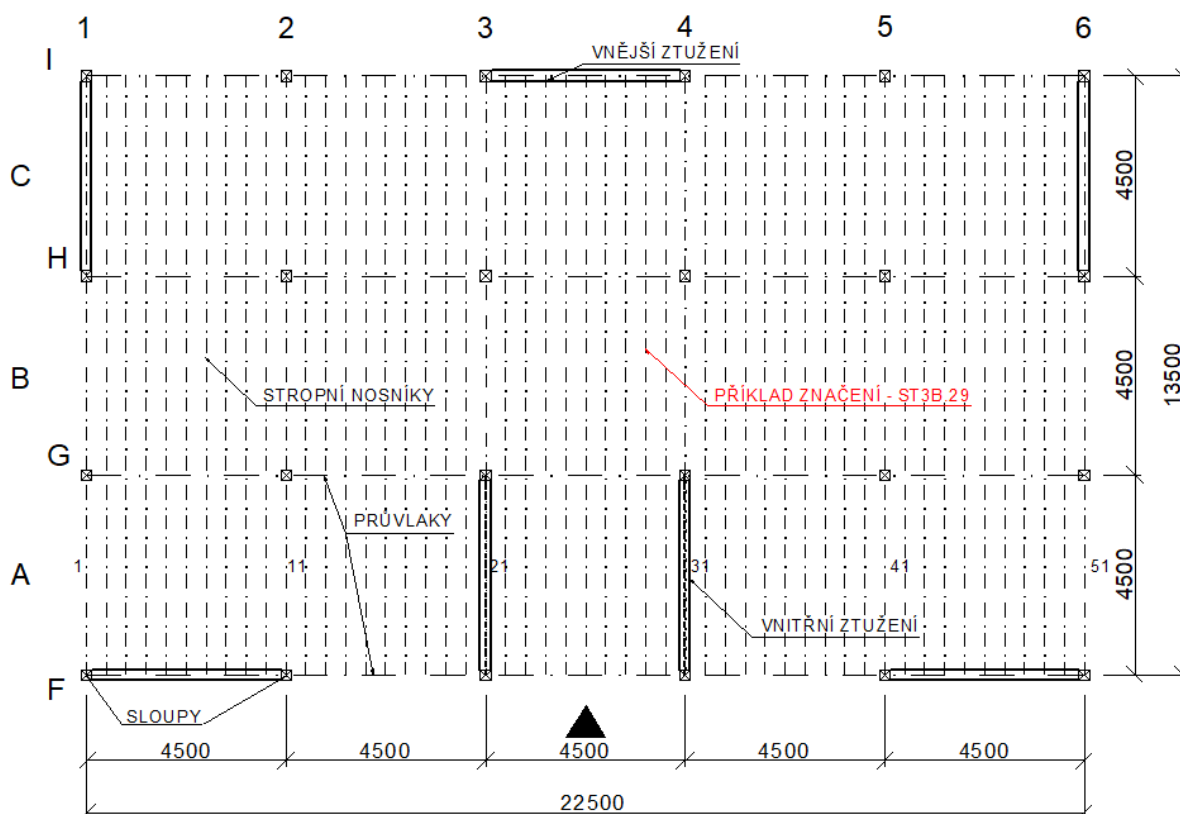
Obrázek 3-6. Prostorový model konstrukce těžkého dřevěného skeletu v softwaru [23].



Obrázek 3-7. Pohled na delší stranu „drátěného“ výpočetního modelu konstrukce v softwaru [23].



Obrázek 3-8. Pohled na delší stranu „drátěného“ výpočetního modelu konstrukce v softwaru [23].



Obrázek 3-9. Schéma podélného konstrukčního systému a červeně příklad značení stropního nosníku nad 3.NP.

## 4 Zatížení

### 4.1 Zatížení stálé - skladby stěn, stropů a střešního pláště

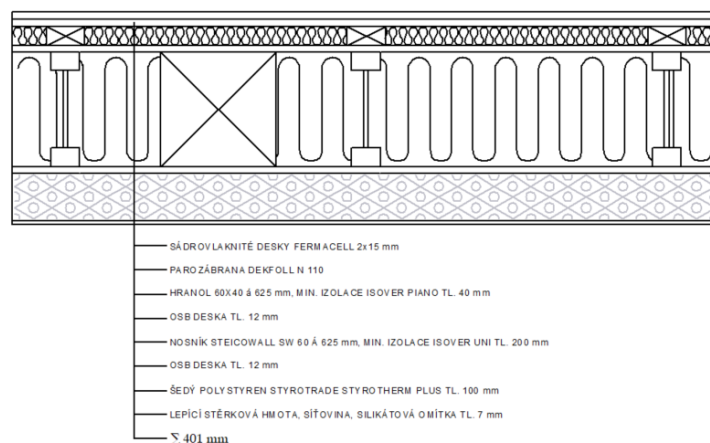
Stálé zatížení je spočteno dle normy ČSN EN 1991-1-1 [39]. Hodnoty zatížení v následujících tabulkách jsou uvedeny v charakteristických hodnotách.

#### 4.1.1 Obvodová stěna

V obytném domě budou postaveny dva typy obvodových stěn s rozdílnou skladbou z důvodu umístění ocelových ztužidel do stěny.

##### Obvodová stěna bez ztužidel

Nosnou konstrukci stěny tvoří nosníky STEICOWall [24] výšky 240 mm. Venkovní tepelnou izolaci tvoří grafitový polystyrén [25] a vnitřní minerální izolace [26], [27]. Na vnitřním líci stěny jsou umístěny sádrovláknité desky Fermacell [28]. Přesná skladba konstrukce je popsána níže na obrázku 4-1. a v tabulce 4-1. Dále na obrázku 4-3 lze vidět zatížení obvodového pláště na konstrukci v softwaru [23].



Obrázek 4-1. Skladba obvodové stěny bez ztužidel.

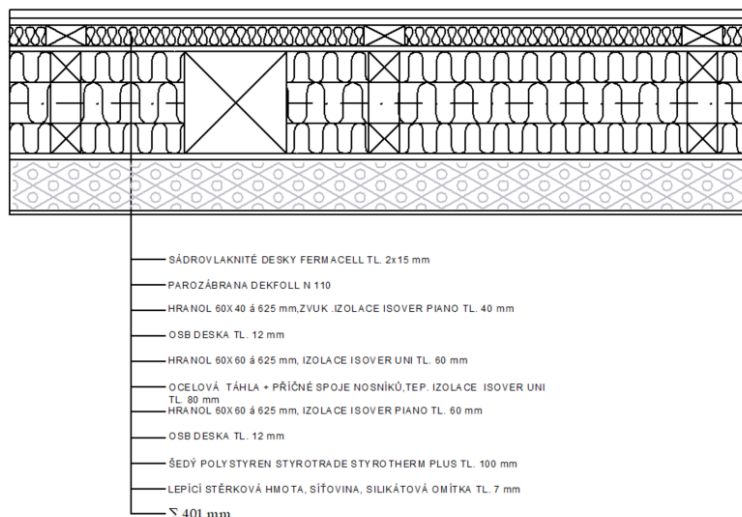
Tabulka 4-1. Skladba obvodové stěny bez ztužidel a plošné hmotnosti jednotlivých materiálů.

Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Sádrovláknitá deska Fermacell [28]	2x15	1200	36	0,36
Parozábrana [29]	0,22	-	0,11	0,001
Hranol 60x40 mm á 625 mm, minerální izolace [26]	40	420; 15	4,0	0,04
OSB Deska	12	600	7,2	0,07
Nosník Steicowall [24] á 625 mm min. izolace	200	-	14	0,14
OSB Deska	12	600	7,2	0,07
Grafitový fasádní polystyren [25]	100	-	4,00	0,04
Lepící stěrková hmota + síťovina [30]	5	1550	7,75	0,08
Silikátová omítka [31]	2	-	3,6	0,04
$\Sigma$	<b>401</b>	-	<b>83,82</b>	<b>0,84</b>

#### Obvodová stěna se ztužidly:

Nosnou konstrukci stěny tvoří perforované složené nosníky, pásnice tvoří hranoly 60x60 mm a stojinu nahrazují příčné dřevěné spoje o rozměrech 80x60 á 600 mm. Příčné spoje budou na svislé hranoly napojeny pomocí hřebíků. Perforované nosníky jsou navrženy z důvodu průchodu ocelových táhel uvnitř stěny. Tepelné [27] a zvukové izolace [26] jsou stejné jako u první obvodové stěny, vnitřní líc opět tvoří sádrovláknité desky Fermacell [28]. Přesná skladba konstrukce je popsána níže na obrázku 4-2. a v tabulce 4-2.



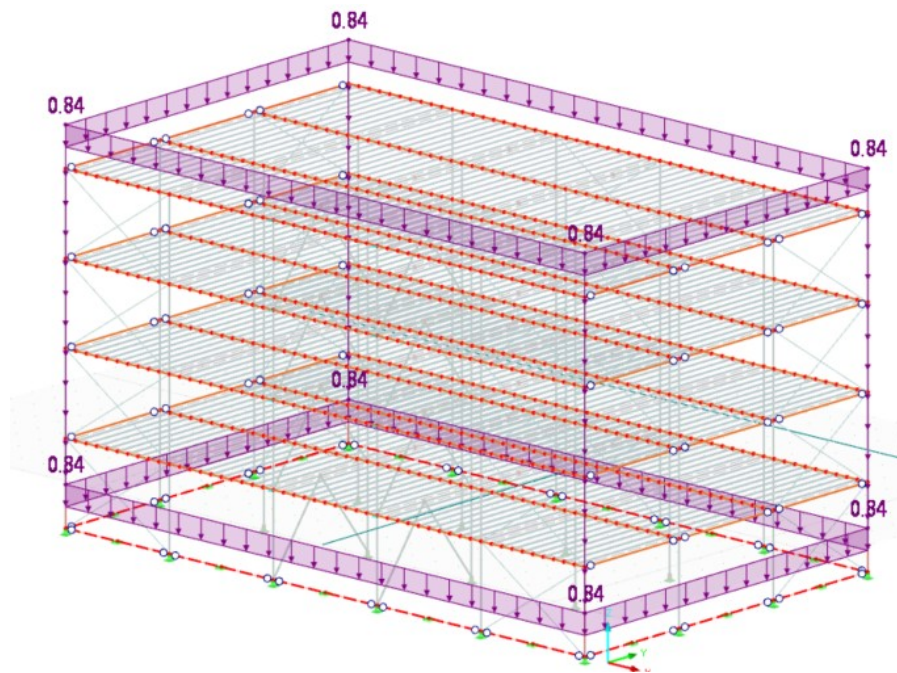


Obrázek 4-2. Skladba obvodové stěny se ztužidly.

Tabulka 4-2. Skladba obvodové stěny se ztužidly a plošné hmotnosti jednotlivých materiálů.

Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Sádrovláknitá deska Fermacell [28]	2x15	1200	36	0,36
Parozábrana [29]	0,22	-	0,11	0,001
Hranol 60x40 mm á 625 mm, minerální izolace [26]	40	420; 15	4,0	0,04
OSB Deska	12	600	7,2	0,07
Hranol 60x60 á 625 mm, minerální izolace [27]	60	-	4,6	0,046
Ocelová táhla, příčné spoje nosníků, min. izolace [27]	80	-	3,2	0,032
Hranol 60x60 á 625 mm, minerální izolace [27]	60	-	4,6	0,046
OSB Deska	12	600	7,2	0,07
Grafitový fasádní polystyren [25]	100	-	4,00	0,04
Lepicí stěrková hmota + síťovina [30]	5	1550	7,75	0,08
Silikátová omítka [31]	2	-	3,6	0,04
<b>Σ</b>	<b>401</b>	-	<b>82,46</b>	<b>0,83</b>

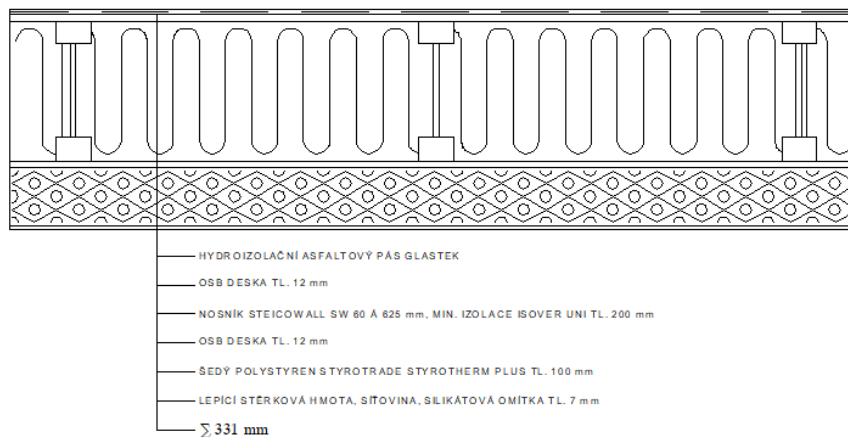




Obrázek 4-3. Ukázka zatížení v softwaru [23] obvodovým pláštěm na konstrukci. Z důvodu minimálních rozdílů hodnot zatížení pro zmíněné skladby obvodové stěny, je vytvořen jeden zatěžovací stav s hodnotou plošného zatížení 0,84 kN/m<sup>2</sup>.

#### Atika:

Skladba atiky je stejná jako skladba obvodové stěny, s tím rozdílem, že na vnitřním líci stěny je přetažen hydroizolační pás ploché střechy. Výška atiky je 600 mm.



Obrázek 4-4. Skladba atiky.

Tabulka 4-3. Skladba atiky a plošné hmotnosti jednotlivých materiálů.

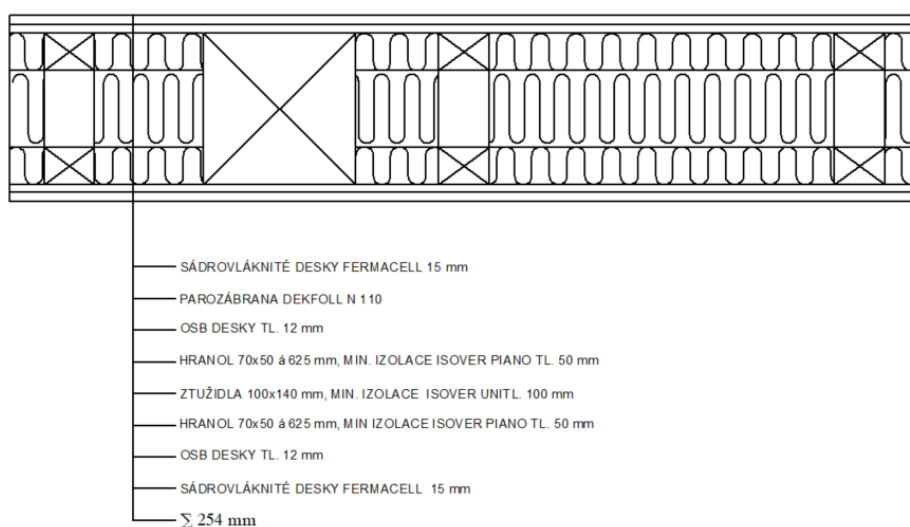
Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Hydroizolační asfaltový pás GLASTEK [37]	4	-	4,54	0,045
OSB Deska	12	600	7,2	0,07
Nosník Steicowall [24] á 625 mm min. izolace	200	-	14	0,14
OSB Deska	12	600	7,2	0,07
Grafitový fasádní polystyren [25]	100	-	4,00	0,04
Lepící stěrková hmota + síťovina [30]	5	1550	7,75	0,08
Silikátová omítka [31]	2	-	3,6	0,04
Σ	335	-	48,29	0,5

## 4.1.2 Vnitřní stěny

Vnitřní stěna se ztužidly je sestavena kombinací materiálů tvořící obvodové stěny a příčky jsou pak sestaveny z kombinace systému Rigips [32] a minerální izolace Isover [26], [27].

Vnitřní stěna se ztužidly:

Nosnou konstrukci tvoří hranoly 70x50 mm, které jsou opět příčně spojené pomocí hranolů a hřebíků. Izolace ve stěně je jak tepelná, tak zvuková a oba líce stěny jsou ukončeny sádrovláknitými deskami Fermacell. Přesná skladba je vidět na obrázku 4-5. a v tabulce 4-4.



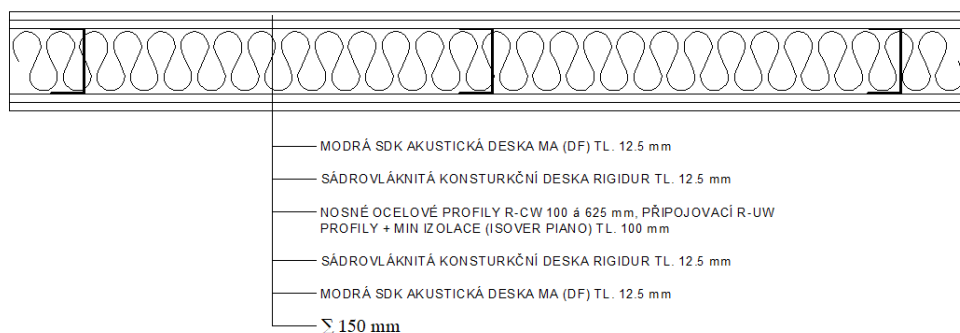
Obrázek 4-5. Skladba vnitřní stěny se ztužidly.

Tabulka 4-4. Skladba vnitřní stěny se ztužidly a plošné hmotnosti jednotlivých materiálů.

Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Sádrovláknitá deska Fermacell [28]	15	1200	18	0,18
OSB Deska	12	600	7,2	0,07
Parozábrana [29]	0,22	-	0,11	0,001
Hranol 70x50 mm á 625 mm, minerální izolace [26]	50	420; 15	4	0,04
Ztužidla dřevěného průřezu C24 100x140 mm, minerální izolace [27]	100	420;40	4	0,04
Hranol 70x50 mm á 625 mm, minerální izolace [26]	50	420; 15	4	0,04
OSB Deska	12	600	7,2	0,07
Sádrovláknitá deska Fermacell [28]	15	1200	18	0,18
$\Sigma$	<b>254</b>	-	<b>62,5</b>	<b>0,63</b>

Mezibytová příčka:

Nosnou konstrukci stěny tvoří ocelové R-CW a R-UW profily, mezi kterými je vložena tepelná izolace, na ocelové profily jsou montovány na každé straně nejprve sádrovláknité a následně sádrokartonové desky. Přesná skladba lze vidět na obrázku 4-6. a v tabulce 4-5.



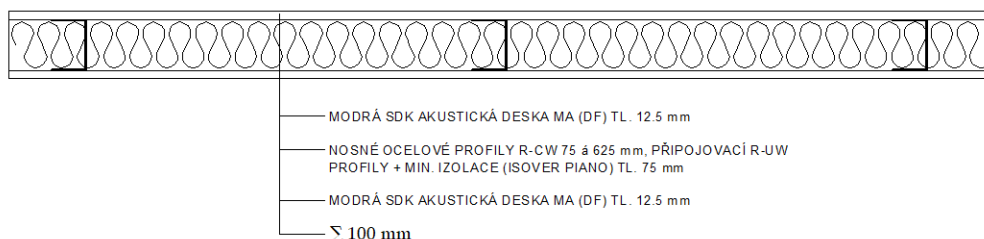
Obrázek 4-6. Skladba mezi bytové příčky.

Tabulka 4-5. Skladba mezibytové příčky se ztužidly a plošné hmotnosti jednotlivých materiálů.

Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Modrá sádrokartonová akustická deska MA (DF)	12,5	-	12	0,12
Sádro vláknitá konstrukční deska Rigips Rigidur	12,5	-	16	0,16
Nosný ocelový profil R-CW 100 á 625 mm, přípojovací profil R-UW 100 + minerální izolace [26]	100	-; 15	5	0,05
Sádro vláknitá konstrukční deska Rigips Rigidur	12,5	-	16	0,16
Modrá sádrokartonová akustická deska MA (DF)	12,5	-	12	0,12
$\Sigma$	<b>150</b>		<b>61</b>	<b>0,61</b>

### Bytová příčka

Bytová příčka je podobná jako mezibytová příčka s tím rozdílem, že na nosnou konstrukci je namontována pouze už sádrokartonová deska. V místech, kde je vlhčí prostředí, jsou namontovány vlhku odolnější desky (např. koupelny). Přesná skladba lze vidět na obrázku 4-7. a v tabulce 4-6.



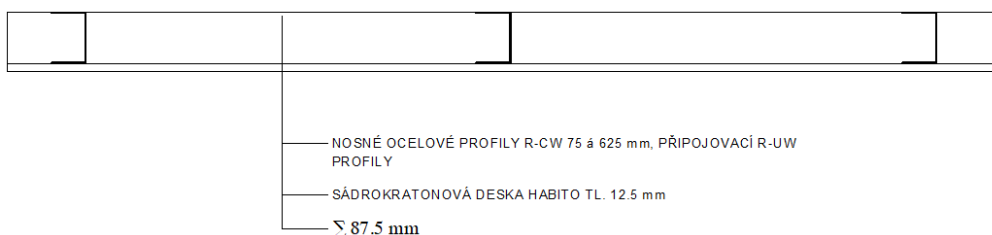
Obrázek 4-7. Skladba bytové příčky.

Tabulka 4-6. Skladba bytové příčky se ztužidly a plošné hmotnosti jednotlivých materiálů.

Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Modrá sádrokartonová akustická deska MA (DF)	12,5	-	12	0,12
Nosný ocelový profil R-CW 75 á 625 mm, přípojovací profil R-UW 75 + minerální izolace [26]	75	-; 15	4	0,04
Modrá sádrokartonová akustická deska MA (DF)	12,5	-	12	0,12
$\Sigma$	<b>100</b>		<b>28</b>	<b>0,28</b>

### Předstěna:

Na nosnou konstrukci ocelových profilů je z jedné strany namontována SDK deska. Jedná se především o stěny kryjící vedení technických zařízení budov.



Obrázek 4-8. Skladba předstěny.

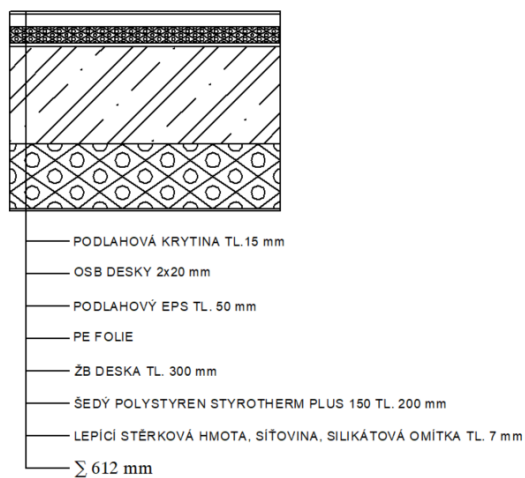
Tabulka 4-7. Skladba předstěny a hmotnosti jednotlivých materiálů.

Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Nosný ocelový profil R-CW 75 á 625 mm, přípojovací profil R-UW 75	75	-	3	0,03
Modrá sádrokartonová akustická deska MA (DF)	12,5	-	12	0,12
Σ	<b>87,5</b>		<b>15</b>	<b>0,15</b>

### 4.1.3 Stropy

#### Strop nad podzemním podlažím

Na železobetonovou stropní desku je umístěn systém lehké plovoucí podlahy se skladbou viz obrázek 4-9. a tabulka 4-8.



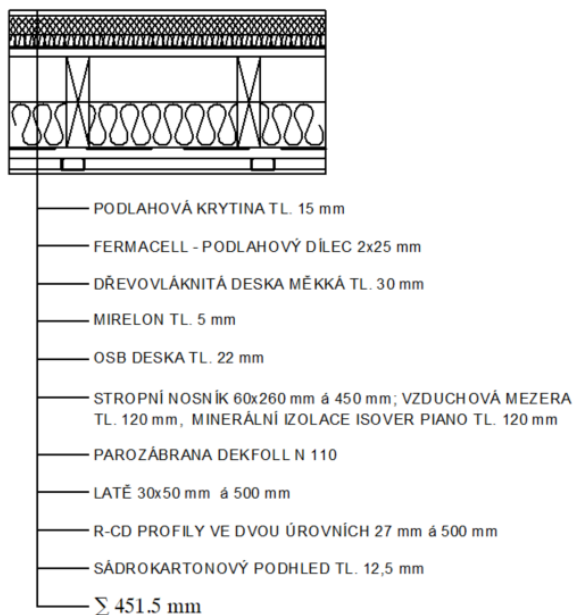
Obrázek 4-9. Skladba stropu nad podzemní garáží.

Tabulka 4-8. Skladba stropní konstrukce nad podzemní garáží a plošné hmotnosti jednotlivých materiálů.

Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Vinylová podlaha/keramická dlažba	15	2300	34,5	0,35
OSB Deska	2x20	600	24	0,24
Podlahový polystyren ISOVER EPS 100 [33]	50	20	1	0,01
PE folie	0.1	-	-	0,00
ŽB deska	300	2500	750	7,5
Minerální izolace ISOVER TOP V [34]	200	65	13	0,13
Lepící stěrková hmota + síťovina [30]	5	1550	7,75	0,08
Silikátová omítka [31]	2	1910	3,6	0,04
Σ	<b>612</b>	-	<b>833,85</b>	<b>8,34</b>

### Stropní konstrukce:

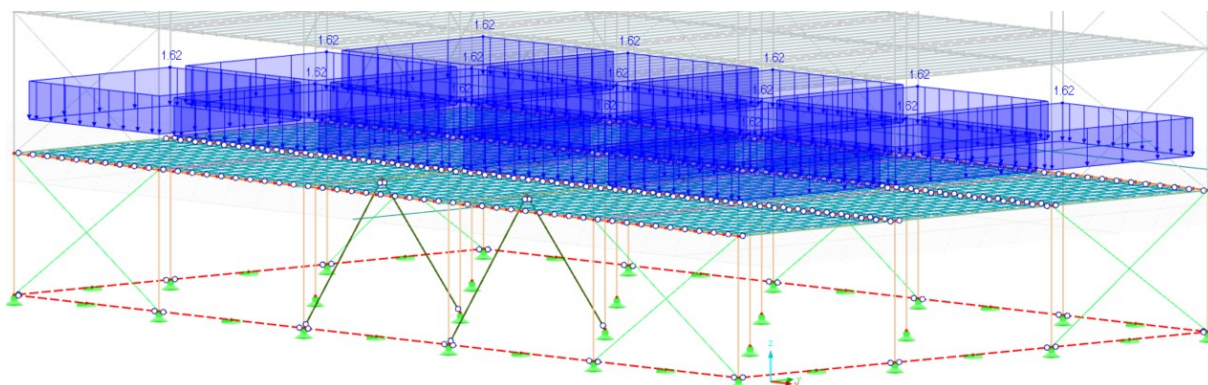
Nosnou konstrukci stropních nosníků tvoří dřevěné nosníky dřeva C24, mezi kterými je tepelná izolace a je na ně ukotven sádkartonový podhled od firmy Rigips [35]. Na nosnících je záklop z OSB desek a na nich je umístěn systém lehké plovoucí podlahy. Skladbu lze vidět na obrázku 4-10. a v tabulce 4-9. Na obrázku 4-11. je vidět zatížení konstrukce v softwaru [23].



Obrázek 4-10. Skladba stropní konstrukce mezi podlažími.

Tabulka 4-9. Skladba stropní konstrukce a plošné hmotnosti jednotlivých materiálů.

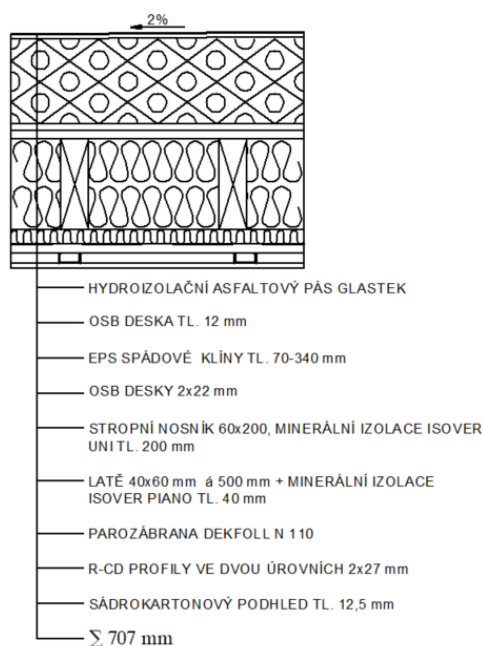
Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Vinylová podlaha/keramická dlažba	15	2300	34,5	0,345
Fermacell podlahový dílec [36]	2x25	1150	57,5	0,575
Dřevovláknitá deska měkká	30	600	18	0,18
Mirelon	5	25	0,125	0,001
OSB Deska	22	600	13,2	0,132
Stropní nosník 60x260 mm á 450 mm, vzduchová mezera + mineralní izolace tl.130 mm [26]	260	-	22	0,22
Parozábrana [29]	0,22	-	0,11	0,001
LATĚ 30x50 mm á 500 mm	30	420	1,72	0,172
R-CD profily á 500 mm	27	-	2,64	0,0264
Modrá sádkokartonová akustická deska MA (DF)	12,5	-	12	0,12
$\Sigma$	<b>451,5</b>	-	<b>161,8</b>	<b>1,62</b>



Obrázek 4-11. Zatížení stropní konstrukce v softwaru [23].

### Střešní konstrukce

Nosnou konstrukci střešních nosníků tvoří dřevěné nosníky třídy dřeva C24, mezi kterými je tepelná izolace a je na ně ukotven sádkartonový podhled systému [35]. Na nosnících je záklop z OSB desek, na kterém jsou spádové klíny s hydroizolačními střešními pásy. Na obrázku 4-13. lze pak vidět zatížení střešní konstrukce s softwaru [23].



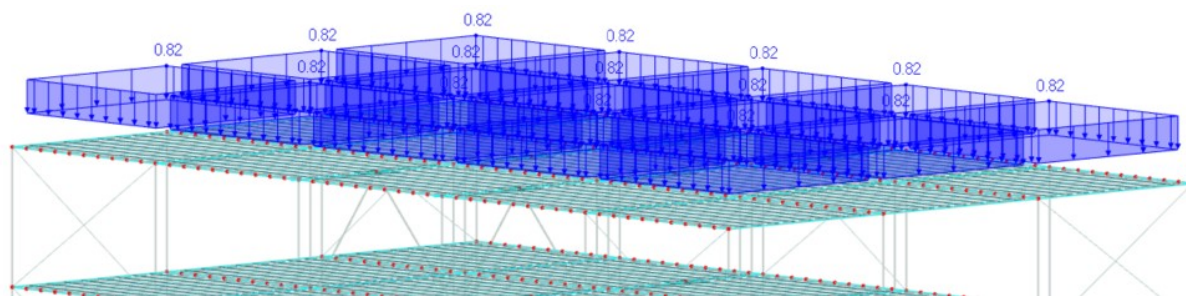
Obrázek 4-12. Skladba střešní konstrukce.

Tabulka 4-10. Skladba střešní konstrukce s plošnou hmotností jednotlivých materiálů.

Materiál	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Plošná hmotnost [kg.m <sup>-2</sup> ]	Tíha [kN.m <sup>-2</sup> ]
Hydroizolační asfaltový pás [37]	4	-	4,54	0,045
OSB Deska	12	600	7,2	0,072
EPS spádové klíny [38]	340	20	6,8	0,068
OSB Deska	2x22	600	26,4	0,264
Stropní nosník 60x200 á 450 mm, minerální izolace [27]	200	420;40	20	0,20
Latě 40x60 mm á 500 mm + minerální izolace [26]	40	420,15	3	0,03



Parozábrana [29]	0,22	-	0,11	0,001
R-CD profily ve dvou úrovních á 500 mm	2x27	-	2,64	0,026
Modrá sádkartonová akustická deska MA (DF)	12,5	-	12	0,12
$\Sigma$	<b>707</b>	-	<b>81,7</b>	<b>0,82</b>



Obrázek 4-13. Zatížení střešní konstrukce v softwaru [23].

## 4.2 Zatížení větrem

Zatížení větrem je spočteno dle normy ČSN 1991-1-4 [40]. Dům je situován v kategorii terénu III, tedy v oblasti pravidelně pokrytou vegetací, budovami a překážkami a spadá do větrné oblasti II.

Hodnoty vstupující do výpočtu:

Větrná oblast [-]:		II
Kategorie terénu [-]:		III
Výchozí základní rychlost větru [m/s]:	$v_b$	25
Součinitel směru větru [-]:	$c_{dir}$	1
Součinitel ročního období [-]:	$c_{season}$	1
Výška domu [mm]:	$h_d$	14130
Hloubka domu [mm]:	$d_d$	13980
Šířka domu [mm]:	$b_d$	22980
Parametr drsnosti terénu [m]:	$z_0$	0,3
	$z_{0,II}$	0,05
Minimální výška [m]:	$z_{min}$	5
Součinitel turbulence [-]:	$k_1$	1
Součinitel ortografie [-]:	$c_0(z)$	1
Součinitelé vnitřního tlaku [-]:	$c_{pi}^+$	0,2
	$c_{pi}^+ c_{pi}^-$	-0,3



### Stanovení výsledného tlaku větru na konstrukci

Pro stanovení výsledného tlaku větru na konstrukci je nutné vypočítat maximální charakteristický dynamický tlak  $q_p(z)$ , který v sobě zahrnuje charakteristickou střední rychlost větru a turbulentní složku. Pro jeho výpočet je nutné znát výchozí základní rychlost větru, součinitel terénu, součinitel drsnosti, charakteristickou střední rychlost větru a intenzitu turbulence. Všechny neznámé jsou spočteny níže pomocí vztahu 4.1 až 4.6.

Základní rychlost větru  $v_b$ :

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.1)$$

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel terénu  $k_r$ :

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (4.2)$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,22$$

Součinitel drsnosti  $c_r$ :

$$c_r = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad (4.3)$$

$$c_r = 0,19 \cdot \ln \frac{13,9}{0,05} = 0,83$$

Charakteristická střední rychlost větru  $v_m(z)$ :

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (4.4)$$

$$v_m(z) = 0,83 \cdot 1 \cdot 25 = 20,75 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence  $I_v(z)$ :

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln \frac{z}{z_0}} \quad (4.5)$$

$$I_v(z) = \frac{1}{1 \ln \frac{13,9}{0,3}} = 0,26$$

Maximální dynamický charakteristický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 \quad (4.6)$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,26] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20,75^2 = 0,76 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

### Referenční výšky:

Při proudění větru ze severní či jižní strany (příčný vítr) je splněna podmínka:

$$\begin{aligned} h &\leq b \\ 14130 \text{ mm} &\leq 22980 \text{ mm}, \end{aligned} \quad (4.7)$$

kde  $b$  je šířka kolmá na směr větru, referenční výška  $z_e$  tedy odpovídá výšce budovy  $h$ .

Při proudění větru z východní či západní strany je splněna podmínka:

$$\begin{aligned} b < h &\leq 2b \\ 13980 \text{ mm} < 14130 \text{ mm} &\leq 27960 \text{ mm}, \end{aligned} \quad (4.8)$$

kde  $b$  je šířka kolmá na směr větru, tedy v tomto případě hloubka  $d$ . Tlak větru na celou budovu by měl být rozdělen na dvě části, avšak rozdíly vypočteného tlaku při různých výškách jsou  $0,1 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ , proto bude použit tlak odpovídající vyšší referenční výšce, tedy  $0,76 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ .

### Výsledné tlaky větru na konstrukci:

Výsledný tlak na vnější konstrukci je dán vztahem:

$$w_k = q_p * (c_{pe} - c_{pi}), \quad (4.9)$$

kde  $c_{pe}$  a  $c_{pi}$  jsou součinitele vnějšího a vnitřního tlaku.

### Výsledný tlak větru na svislé stěny objektu ze severní a jižní strany $w_k^l$ (příčný vítr):

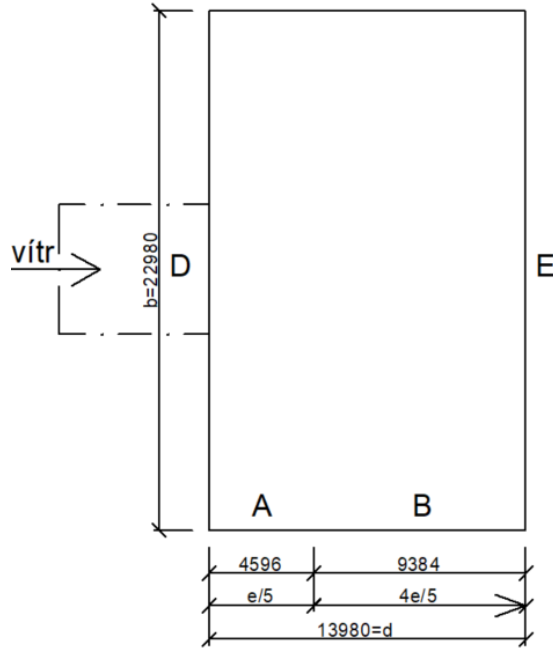
Hodnota  $e$  pro výpočet délek oblasti objektu A, B a C (viz obrázek 4-14.)

$$e = \min(b; 2h) \quad (4.10)$$

$$e = \min(22980; 28260) = 22980 \text{ mm},$$

kde  $b$  je rozměr kolmý na směr větru.

Rozdělení svislých stěn na větrné oblasti lze vidět na obrázku 4-14.



Obrázek 4-14. Schéma rozdělení objektu na větrné oblasti na stěnách pro příčný vítr.

Tabulka 4-11. Součinitelé vnějšího tlaku  $c_{pe,10}$  pro svislé stěny a výsledné tlaky větru  $w_k$  na svislou stěnu.

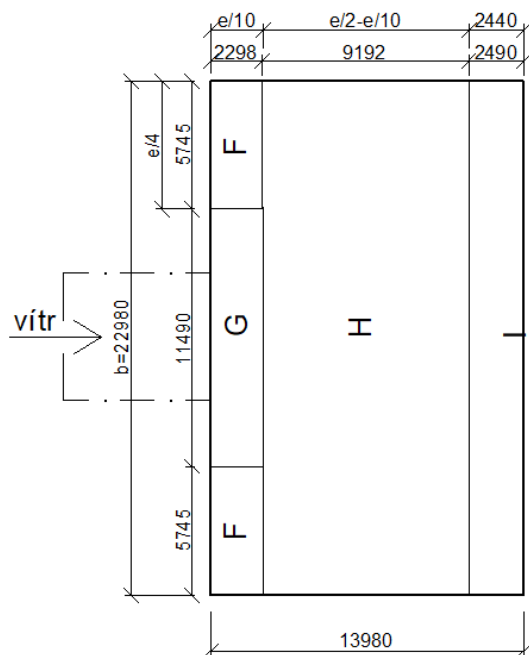
$h/d = 1,01$	[-]	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$
oblast	$c_{pe,10}$	$w_k^{i+}$	$w_k^{i-}$
A	-1,2	-1,06	-0,68
B	-0,8	-0,76	-0,38
D	+0,8	0,46	0,83
E	-0,5	-0,53	-0,15

Pozn. Pro výpočet výsledného tlaku  $w_k^{i+}$  byla použita hodnota součinitele vnitřního tlaku  $c_{pi}^+ = +0,2$  a pro výsledný tlak  $w_k^{i-}$  byla použita hodnota  $c_{pi}^+ = -0,3$ . Platí pro všechny následující výpočty výsledných tlaků.

### Výsledný tlak větru na střechu objektu ze severní strany $w_k^i$ :

Dle vztahu (4.8)  $e = \min(22980; 28260) = 22980 \text{ mm}$

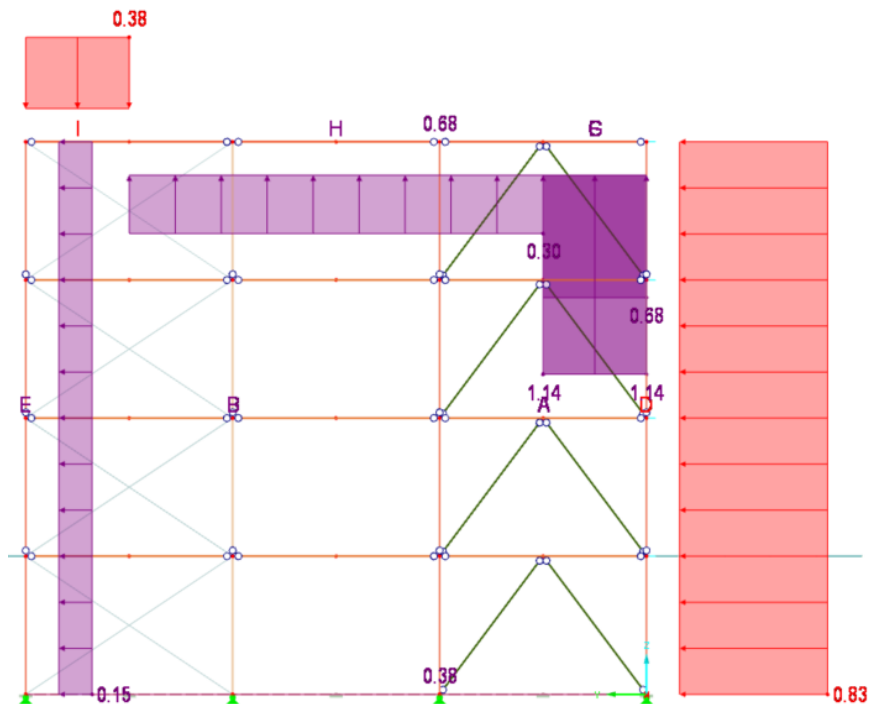
Rozdělení střechy na větrné oblasti je rozděleno dle obrázku 4-15. Za strojovnou výtahu by mělo vznikat turbulentní proudění a z části by měla být střecha kryta před působení větru. V rámci zjednodušení je oblast střechy rozdělena bez přítomnosti převyšující části strojovny výtahu. Hodnoty součinitelů tlaku větru tak budou vyšší a budou na straně bezpečnosti. Na severní straně je střešní konstrukce bez atiky.



Obrázek 4-15. Schéma rozdělení roviny střechy na větrné oblasti pro příčný vítr.

Tabulka 4-12. Součinitelé vnějšího tlaku  $c_{pe,10}$  pro ploché střechy a výsledné tlaky větru  $w_k$  na střešní konstrukci.

oblast	[-]	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$
	$c_{pe,10}$	$w_k^{i+}$	$w_k^{i-}$
F	-1,8	-1,52	-1,14
G	-1,2	-1,06	-0,68
H	-0,7	-0,68	-0,30
I+	0,2	0,00	0,38
I-	-0,2	-0,30	0,08



Obrázek 4-16. Ukázka vygenerování zatížení větrem softwarem [23] pro vítr  $w_k^{i-}$ . Hodnoty po vygenerování byly totožné s mnou vypočtenými hodnotami větru. Generátor větru softwaru [23] tak sloužil jako kontrola pro ručně spočtené hodnoty zatížení.

### Výsledný tlak větru na střechu objektu z jižní strany $w_k^i$ (příčný vítr):

Na jižní hraně střešní konstrukce je orientována atika výšky 200 mm. Rozdělení střešní roviny je stejné jako na obrázku 4-15. akorát zrcadlově. Tlaky na střešní konstrukci však budou nižší dle poměru výšky atiky  $h_p$  a výšky budovy bez atiky  $h$  viz tabulka 4-13.

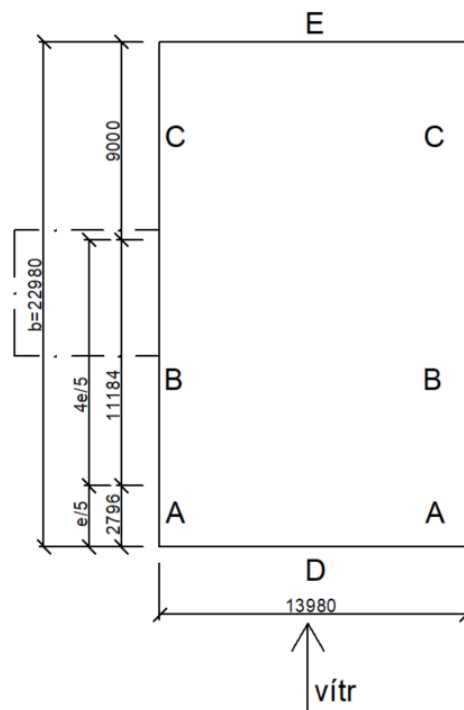
Tabulka 4-13. Součinitele vnějšího tlaku  $c_{pe,10}$  pro ploché střechy a výsledné tlaky větru  $w_k$  na střešní konstrukci.

$h_p/h = 0,014$	[-]	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$
oblast	$c_{pe,10}$	$w_k^{i+}$	$w_k^{i-}$
F	-1,7	-1,44	-1,06
G	-1,15	-1,03	-0,65
H	-0,7	-0,68	-0,30
I+	0,2	0,00	0,38
I-	-0,2	-0,30	0,08

### Výsledný tlak větru na svislé stěny objektu z východní či západní strany $w_k^i$ (podélný vítr):

Dle vztahu (4.8)  $e = \min(13980; 28260) = 13980 \text{ mm}$ , kdy  $b = d = 13980 \text{ mm}$ .

Rozdělení svislých stěn na větrné oblasti lze vidět na obrázku 4-17.



Obrázek 4-17. Schéma rozdělení objektu na větrné oblasti pro podélný vítr.

Tabulka 4-14. Součinitele vnějšího tlaku  $c_{pe,10}$  pro svislé stěny a výsledné tlaky větru na svislou stěnu pro podélný vítr.

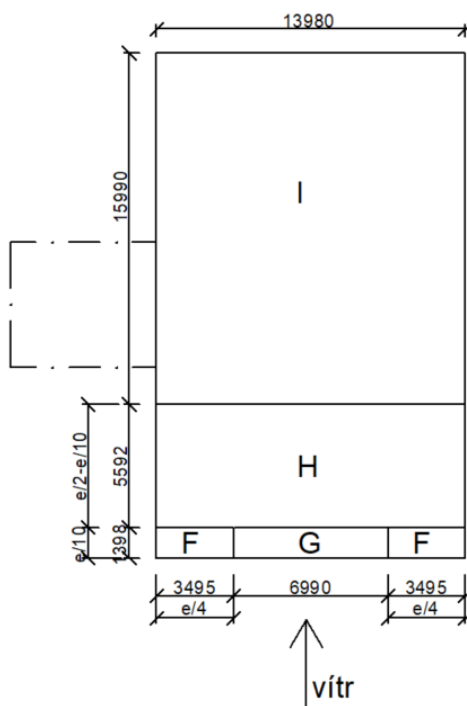
$h/d = 0,62$	[-]	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$
oblast	$c_{pe,10}$	$w_k^{i+}$	$w_k^{i-}$
A	-1,2	-1,06	-0,68
B	-0,8	-0,76	-0,38
C	-0,5	-0,53	-0,15
D	0,75	0,42	0,80
E	-0,4	-0,46	-0,08

**Výsledný tlak větru na střechu objektu z východní či západní strany  $w_k^i$  (podélný vítr):**

Dle vztahu (4.8)  $e = \min(13980; 28260) = 13980 \text{ mm}$ , kdy  $b = d = 13980 \text{ mm}$ .

Na východní i jižní hraně střešní konstrukce je situována atika, jejíž nejnižší výška činí 200 mm a výška postupně od jižní k severní straně vzrůstá. V rámci zatížení bude dále uvažováno s nejnižší výškou atiky čili 200 mm.

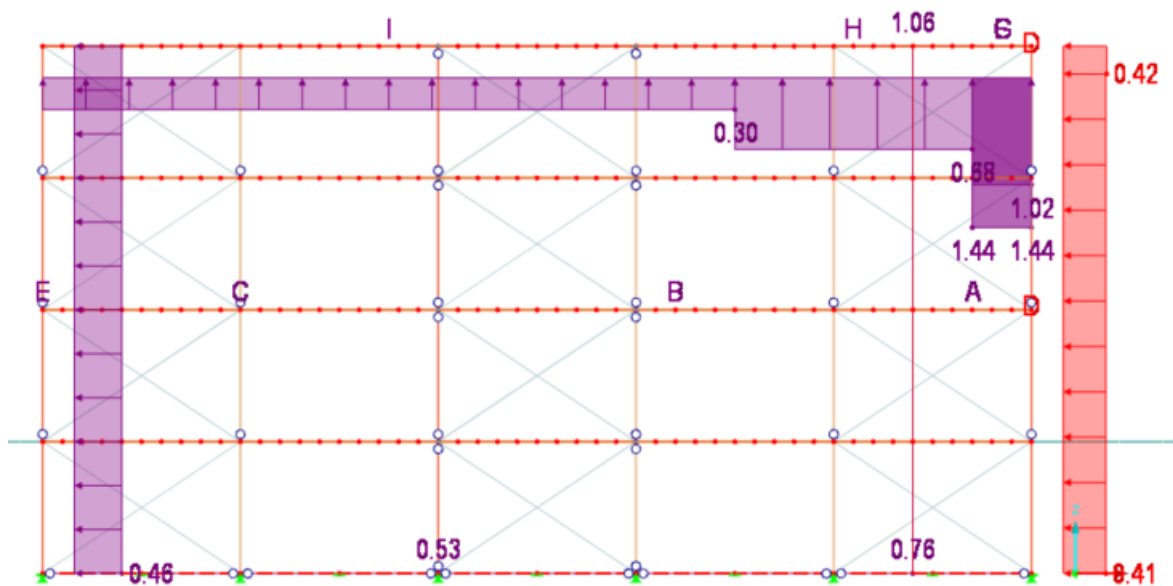
Rozdělní střešní konstrukce na větrné oblasti lze vidět na obrázku 4-18.



Obrázek 4-18. Schéma rozdělení roviny střechy na větrné oblasti pro podélný vítr.

Tabulka 4-15. Součinitelé vnějšího tlaku  $c_{pe,10}$  pro ploché střechy a výsledné tlaky větru  $w_k$  na střešní konstrukci.

$h_p/h = 0,014$	[-]	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$
oblast	$c_{pe,10}$	$w_k^{i+}$	$w_k^{i-}$
F	-1,7	-1,44	-1,06
G	-1,15	-1,02	-0,64
H	-0,7	-0,68	-0,31
I+	0,2	0,00	0,38
I-	-0,2	-0,30	0,08



Obrázek 4-19. Ukázka zatížení podélným větrem  $w_k^{l+}$  na stěny a střechu v softwaru [23].

Pozn.: Zatížení větrem na svislé stěny bylo rozneseno prostřednictvím obvodového pláště jak na sloupy, tak na průvlaky a obvodové střešní nosníky.

### 4.3 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je spočteno dle normy ČSN EN 1991-1-3 [41]. Na obrázku 4-20. je uvedena přesná hodnota zatížení sněhem pro danou lokalitu získaná ze sněhové mapy [42].

**Mapa zatížení sněhem na zemi**

**Poloha**

Zeměpisná šířka: 49.8385  
 49° 50' 18.6"

Zeměpisná délka: 18.151  
 18° 9' 3.6"

Nadmořská výška: 261 [m.n.m]

Celá ČR Smazat

**Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi**

zatížení  $s_k$ : 0.98 [kPa]

**Statistické parametry rozdělení ročních maxim**

střední hodnota  $\mu$ : 0.36 [kPa]

směrodatná odchylka  $\sigma$ : 0.23 [kPa]

variační koeficient  $V$ : 0.64

šikmost  $\alpha$ : 1.52

**Rozdělení denních hodnot**

Histogram denních hodnot

Obrázek 4-20. Charakteristická hodnota zatížení sněhem  $s_k$  dle přesných souřadnic v dané lokalitě [42].

#### Stanovení charakteristické hodnoty zatížení sněhem na konstrukci:

Charakteristická hodnota zatížení sněhem je spočtena dle vztahu 4.11. Pro výpočet je nutné znát součinitel expozice, tepelný součinitel a sklon střechy, které jsou zmíněny níže.

#### Vstupní hodnoty:

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi:

$$s_k = 0,98 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice (typ krajiny – normální):

$$C_e = 1,0$$



Tepelný součinitel ( $\lambda < 1,0 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ):

$$C_t = 1,0$$

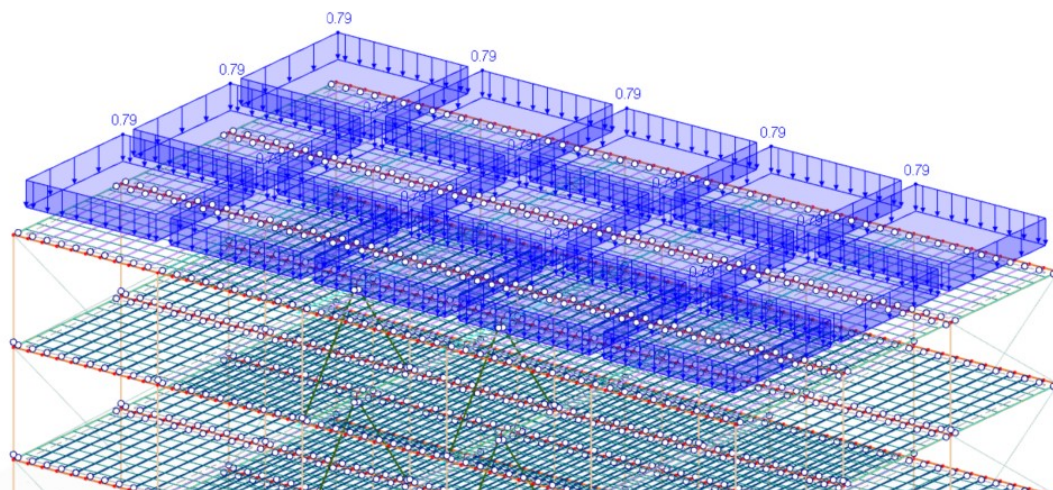
Tvarový součinitel zatížení sněhem pro sklon střechy  $1,15^\circ$ :

$$\mu_1 = 0,8$$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na střeše:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (4.11)$$

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,785 \text{ kN/m}^2 \doteq 0,79 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 4-21. Ukázka zatížení sněhem na střešní konstrukci v softwaru [23].

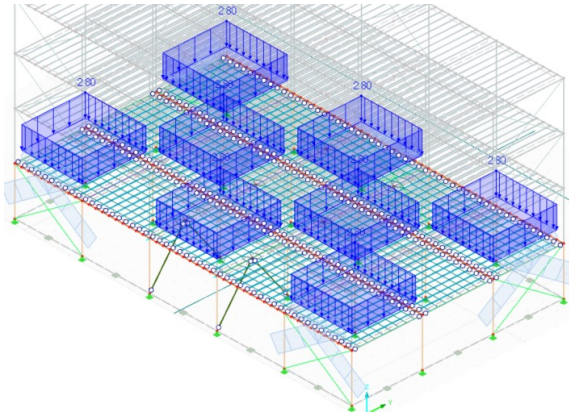
#### 4.4 Zatížení užité

Užitné zatížení je stanoveno dle [39]. Do užitého zatížení spadá zatížení kategorie A, tedy obytné plochy a plochy pro domácí činnosti a dále kategorie H, tedy střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav. Dále je ještě k užitému zatížení dle normy [39] připočteno plošné ekvivalentní zatížení od přemístitelných příček. Jedná se o bytové, mezibytové příčky a také vnitřní stěny se ztužidly, jejichž vlastní tíha nepřesahuje  $2 \text{ kN/m}$  na jejich délku. K užitému zatížení tak bude přidána hodnota ekvivalentní rovnoměrné zatížení o velikosti  $0,8 \text{ kN/m}^2$ . Kombinace užitého zatížení střešní konstrukce a zatížení sněhem nebude provedena.

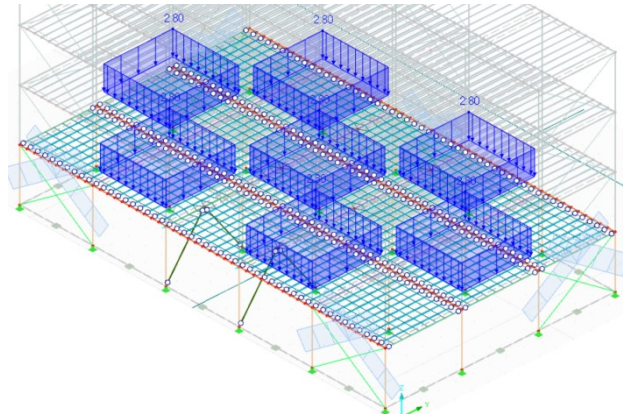
Tabulka 4-16. Užitné zatížení působící na objekt.

Kategorie zatěžovaných ploch	$q_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$
A – Stropní konstrukce	2
Zatížení od přemístitelných příček	0,8
H - Střechy	0,75

Zatěžovací stavy užitého zatížení kategorie A jsou 3, zatížení celoplošné na patro a dále střídavě šachovnicově po jednotlivých podlažích. Na obrázcích 4-22. a 4-23. lze vidět dva zatěžovací stavy šachovnicového rozložení užitého zatížení.



Obrázek 4-22. Ukázka šachovnicového rozložení užitého zatížení I na stropní konstrukci 1.NP v softwaru [23].



Obrázek 4-23. Ukázka šachovnicového zatížení II na stropní konstrukci 2.NP v softwaru [23].

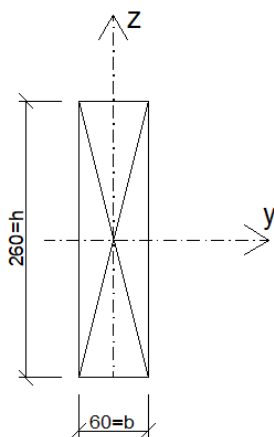
## 5 Návrh a posudek vybraných prvků

Návrh a posudek vybraných prvků je proveden dle norem ČSN 1995-1-1 [43] a ČSN EN 1993-1-1 [44]. Návrh je u vybraných prvků proveden jak dle mezního stavu únosnosti (dále MSÚ), tak mezního stavu použitelnosti (dále MSP).

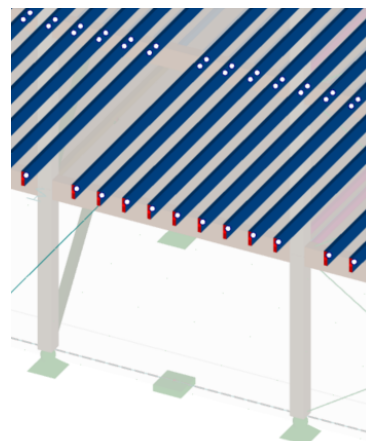
Pro výpočet vnitřních sil bylo v softwaru vytvořeno 16 zatěžovacích stavů a bylo vytvořeno 189 kombinací zatížení, kombinace byly vytvořeny automaticky softwarem.

### 5.1 Návrh a posouzení stropního nosníku

Jedná se o kloubově uložený nosník dřeva třídy C24. Profil a umístění stropního nosníku lze vidět na obrázcích 5-1 a 5-2.



Obrázek 5-1. Průřezu stropního nosníku.



Obrázek 5-2. Umístění stropního nosníku v prostorovém modelu v softwaru [23].

#### Vstupní výpočtové hodnoty:

Třída provozu [-]:

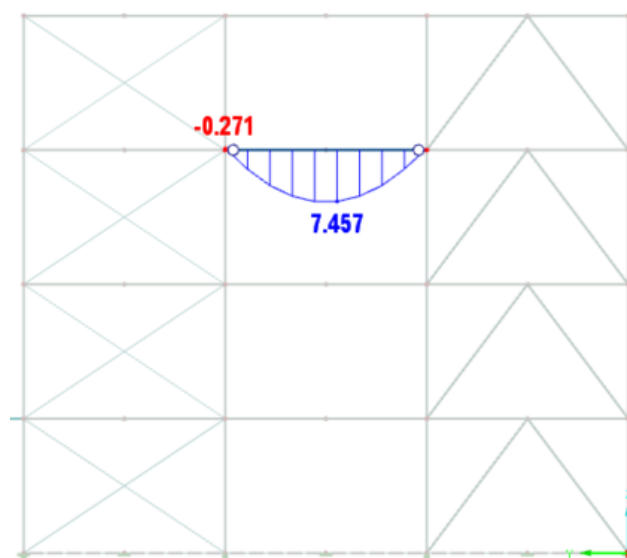
1

Třída trvání zatížení [-]:		střednědobé
Šířka průřezu [mm]:	$b$	60
Výška průřezu [mm]:	$h$	260
Délka nosníku [mm]:	$l$	4500
Zatěžovací šířka [mm]:	$\check{s}$	450
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,8
Součinitel dotvarování [-]:	$k_{def}$	0,6
Dílčí součinitel vlastností materiálů [-]:	$\gamma_M$	1,3
Součinitel pro kvazistálou hodnotu zatížení [-]:		
Obytné plochy kategorie A:	$\psi_2$	0,3
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]:	$E_{0,mean}$	11000
5% kvantil modulu pružnosti [MPa]	$E_{0,05}$	7400
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	15600
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_y$	87880000
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_y$	676000

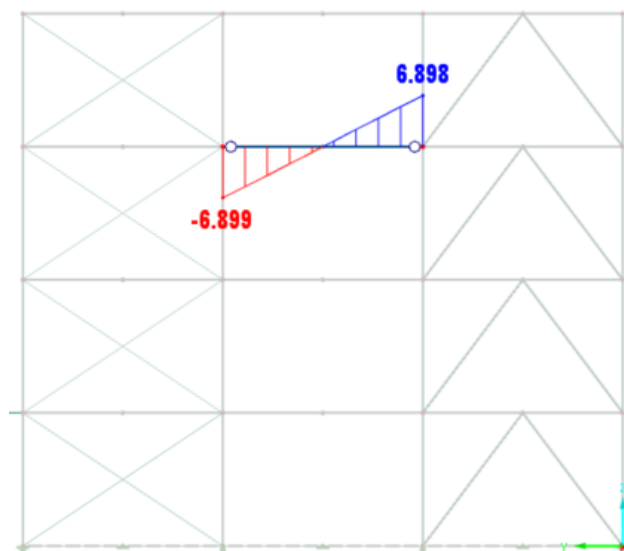
### 5.1.1 Posouzení dle MSÚ

#### Vnitřní síly:

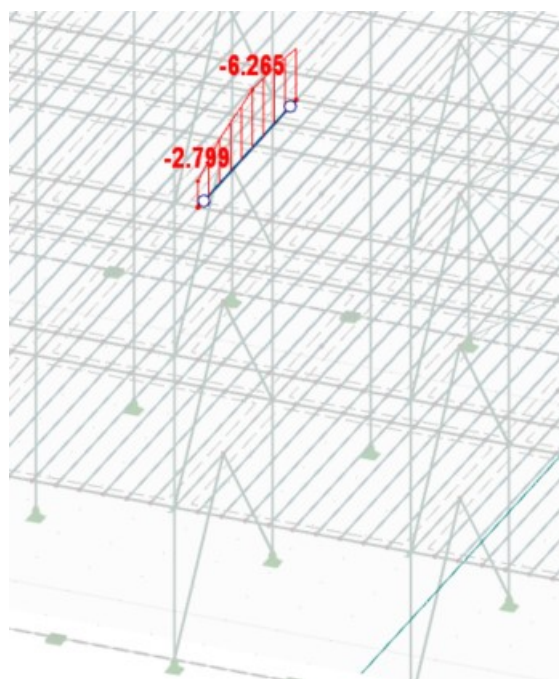
Na obrázcích 5-3 až 5-6 lze vidět výstupy maximálních vnitřních sil z výpočetního modelu konstrukce ze softwaru [23].



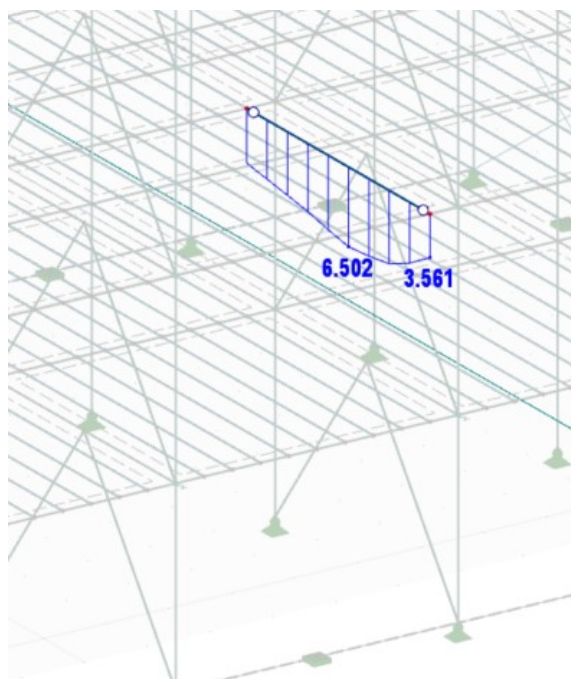
Obrázek 5-3. Maximální ohybový momentem  $M_{y,d}$  na stropním nosníku ST3.B37.



Obrázek 5-4. Maximální posouvající síla  $V_{z,d}$  na stropním nosníku ST3.B37.



Obrázek 5-5. Maximální normálová tlaková síla  $N_{c,d}$  na stropním nosníku ST3.A22.



Obrázek 5-6. Maximální normálová tahová síla  $N_{t,d}$  na stropním nosníku STR2.A30.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Tabulka 5-1. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla vzniklá na stropním nosníku.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Ohybový moment	$M_{y,d} = 7,457 \text{ kNm}$	Tlaková síla	$N_{c,d} = -0,593 \text{ kN}$
Tlaková síla	$N_{c,d} = -6,265 \text{ kN}$	Ohybový moment	$M_{y,d} = 2,096 \text{ kNm}$
Tahová síla	$N_{t,d} = 6,502 \text{ kN}$	Ohybové moment	$M_{y,d} = 2,037 \text{ kNm}$
Posouvající síla	$V_{z,d} = -6,899 \text{ kN}$	-	-

Návrhové hodnoty pevnostních vlastností jsou dány vztahem:

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (5.1)$$

kde  $k_{mod}$  je modifikační součinitel a  $\gamma_M$  je dílčí součinitel spolehlivosti materiálu, jejichž hodnoty jsou uvedeny výše ve vstupních hodnotách.

Návrhové hodnoty pevností pro rostlé dřevo C24:

Všechny návrhové hodnoty jsou spočteny dle vztahu (5.1).

Tabulka 5-2. Charakteristické a návrhové hodnoty jednotlivých pevností pro rostlé dřevo C24.

	Charakteristická pevnost [MPa]		Návrhová pevnost [MPa]	
Ohyb	$f_{m,k}$	24	$f_{m,d}$	14,77
Tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	21	$f_{c,0,d}$	12,92
Tlak kolmo na vlákna	$f_{c,90,k}$	2,5	$f_{c,90,d}$	1,54
Tah	$f_{t,0,k}$	14	$f_{t,0,d}$	8,62
Smyk	$f_{v,k}$	2,5	$f_{v,d}$	1,54

### Posouzení:

Stropní nosník je namáhán kombinací ohybu a tlaku, kombinací ohybu a tahu a prostým smykem.



Proti vybočení z roviny je stropní nosník zajištěn na horním okraji OSB deskami a na spodním systém latí.

### Namáhání kombinací ohybu a tlaku

#### Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a tlaku platí stabilitní podmínka spolehlivosti:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (5.2)$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku,  $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny,  $\sigma_{m,y,d}$  je návrhové napětí v ohybu,  $f_{m,d}$  je návrhová pevnost v ohybu,  $k_{c,y}$  je součinitel vzpěrnosti a  $k_{crit}$  je součinitel, který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní stability, nosník je po celé délce na tlačeném okraji zajištěn proti vybočení OSB deskami a je u něj také zabráněno torznímu vybočení v podpěrách, proto je možné považovat hodnotu  $k_{crit} = 1$ .

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 7,457$  kNm:

#### Návrhové napětí v ohybu $\sigma_{m,y,d}$ :

$$\sigma_{m,y,d} [\text{MPa}] = \frac{M_{y,d} [\text{N}]}{W_y [\text{mm}^3]}, \quad (5.3)$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{7,457 * 10^6}{676000} = 11,03 \text{ MPa}$$

#### Návrhové napětí v tlaku $\sigma_{c,0,d}$ :

$$\sigma_{c,0,d} [\text{MPa}] = \frac{N_{c,d} [\text{N}]}{A [\text{mm}^2]}, \quad (5.4)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{-593}{15600} = -0,038 \text{ MPa}$$

#### Součinitel vzpěrnosti $k_{c,y}$ :

Pro výpočet součinitele vzpěrnosti  $k_{c,y}$  je nutné dopočítat štíhlost prutu  $\lambda_y$ , poměrnou štíhlost prutu  $\lambda_{rel,y}$  a součinitel  $k_y$ . Součinitel vzpěrnosti a potřebné hodnoty jsou spočteny níže dle vztahů (5.5) až (5.9).

Poloměr setrvačnosti  $i$ :

$$i = \sqrt{\frac{I_y}{A}}, \quad (5.5)$$

kde  $I_y$  je moment setrvačnosti.

$$i = \sqrt{\frac{87880000}{15600}} = 75,05 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu  $\lambda_y$ :

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i}, \quad (5.6)$$

kde  $L_{cr} = 4500 \text{ mm}$  je vzpěrná délka prutu.

$$\lambda_y = \frac{4500}{75,05} = 59,96$$

Poměrná štíhlost  $\lambda_{rel,y}$ :

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (5.7)$$

kde  $\lambda_y$  je štíhlost prutu,  $f_{c,0,k}$  je charakteristická hodnota pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny a  $E_{0,05}$  je 5% kvantil modulu pružnosti.

$$\lambda_{rel,y} = \frac{59,96}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,02$$

Součinitel  $k_y$ :

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2), \quad (5.8)$$

kde  $\beta_c$  je součinitel splňující amplitudy zakřivení měřené uprostřed mezi podpěrami a pro rostlé dřevo je  $\beta_c = 0,2$ .

$$k_y = 0,5 (1 + 0,2(1,02 - 0,3) + 1,02^2) = 1,09$$

Součinitel  $k_{c,y}$  vzpěrnosti je pak dán vztahem:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (5.9)$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,09 + \sqrt{1,09^2 - 1,02^2}} = 0,68$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{11,03}{1 * 14,77} \right)^2 + \frac{0,038}{0,68 * 12,92} \leq 1$$

$$0,57 \leq 1$$

**Vyhovuje**



Posouzení kombinace s maximálním normálovou tlakovou silou  $N_{c,d} = -6,265$  kN:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,096 * 10^6}{676000} = 3,1 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-6265}{15600} = -0,41 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Je stejný jako v předchozí kombinaci namáhání.

$$k_{c,y} = 0,68$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{3,1}{1 * 14,77} \right)^2 + \frac{0,41}{0,68 * 12,92} \leq 1$$

$$0,09 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a osového tlaku platí podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (5.10)$$

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 7,457$  kNm:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{7,457 * 10^6}{676000} = 11,03 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-593}{15600} = -0,038 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle vztahu (5.10):**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{11,03}{14,77} + \left( \frac{-0,038}{12,92} \right)^2 \leq 1$$

$$0,75 \leq 1$$

Vyhovuje

Posouzení kombinace s maximálním normálovou tlakovou silou  $N_{c,d} = -6,265$  kN:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,096 * 10^6}{676000} = 3,1 \text{MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-6265}{15600} = -0,41 \text{MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle vztahu (5.10):**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{3,1}{14,77} + \left( \frac{-0,41}{12,92} \right)^2 \leq 1$$

$$0,21 \leq 1$$

Vyhovuje

**Namáhání kombinací ohybu a tahu**

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a tahu platí podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \tag{5.11}$$

Posouzení kombinace s maximálním normálovou tahovou silou  $N_{t,d} = 6,502$  kN:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2,037 * 10^6}{676000} = 3,01 \text{MPa}$$

**Návrhové napětí v tahu  $\sigma_{t,0,d}$ :**

$$\sigma_{t,0,d} [\text{MPa}] = \frac{N_{t,d} [\text{N}]}{A [\text{mm}^2]} \tag{5.12}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{6502}{15600} = 0,42 \text{MPa}$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.11):**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,42}{8,62} + \frac{3,01}{14,77} \leq 1$$

$$0,25 \leq 1$$

Vyhovuje

### Namáhání smykem

**Pro namáhání ve smyku platí podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (5.13)$$

**Návrhové napětí ve smyku  $\tau_d$  je spočteno dle vztahu:**

$$\tau_d = \frac{3V_{z,d}}{2k_{cr} * b * h'} \quad (5.14)$$

kde  $k_{cr}$  kde je součinitel trhlin, který pro rostlé dřevo je  $k_{cr} = 0,67$ .

$$\tau_d = \frac{3 V_{z,d}}{2 k_{cr} b h} = \frac{3 * (-6899)}{2 * 0,67 * 60 * 260} = -0,99 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.13):**

$$\frac{|\tau_d|}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,99}{1,54} \leq 1$$

$$0,64 \leq 1$$

Vyhovuje

### 5.1.2 Posouzení dle MSP

Pro posouzení dle mezního stavu použitelnosti bude dále použita zkratka MSP.

Vstupní výpočtové hodnoty:

Charakteristické hodnoty zatížení:

Stálé zatížení [kN.m<sup>-2</sup>]:  $g_k$  1,62

Užitné zatížení [kN.m<sup>-2</sup>]:  $q_k$  2,8

Přepočet plošného stálého zatížení na zatížení liniové na stropní nosník ( $\check{s} = 0,45$  m):

$$g_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = g_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] * 0,45 \text{ m} = 1,62 * 0,45 = 0,73 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Přepočet plošného užitného zatížení na zatížení liniové na stropní nosník ( $\check{s} = 0,45$  m):

$$q_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = q_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] * 0,45 \text{ m} = 2,8 * 0,45 = 1,26 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

### Posouzení:

Okamžitý průhyb:

Okamžitý průhyb od stálého zatížení je dán vztahem:

$$w_{inst,g} = \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} * I_y} \quad (5.15)$$

kde  $E_{0,mean}$  je průměrná hodnota modulu pružnosti v ohybu rovnoběžně s vlákny,  $l$  je délka nosníku,  $g_k$  je charakteristická hodnota stálého zatížení a  $I_y$  je moment setrvačnosti průřezu.

$$w_{inst,g} = \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 0,73 \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 87880000} = 4,03 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení je dán vztahem (5.15), kde stálé zatížení  $g_k$  nahradí zatížení užité  $q_k$ :

$$w_{inst,q} = \frac{5 \cdot q_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 1,26 \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 87880000} = 6,96 \text{ mm}$$

Celkový okamžitý průhyb je dán vztahem:

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,q} = 4,03 + 6,96 = 10,99 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = 10,99 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti pro okamžitý průhyb je dána vztahem:**

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300} \quad (5.16)$$

$$w_{inst} \leq \frac{4500}{300}$$

$$10,99 \text{ mm} \leq 15 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný průhyb:

Konečný čistý průhyb od stálého zatížení a proměnného zatížení je dán vztahem:

$$w_{net,fin} = w_{inst,g}(1 + k_{def}) + w_{inst,q}(1 + \psi_{2,1} k_{def}), \quad (5.17)$$

kde  $k_{def}$  je součinitel dotvarování a  $\psi_{2,1}$  je součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení.

$$w_{net,fin} = 4,03 \cdot (1 + 0,6) + 6,96 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,6) = 14,66 \text{ mm}$$

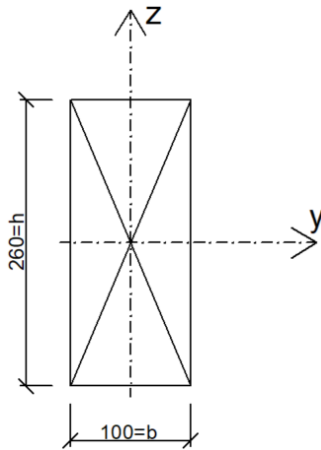
**Podmínka spolehlivosti pro konečný čistý průhyb pro prostý nosník je dána vztahem:**

$$w_{fin,net} \leq \frac{l}{250} \quad (5.18)$$

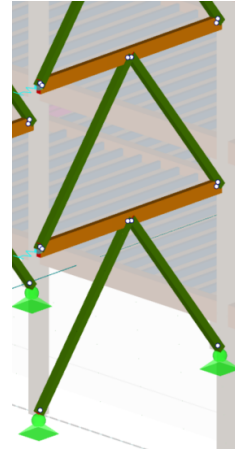
$$14,66 \text{ mm} \leq 18 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

## 5.2 Návrh a posudek stropního nosníku v rovině připojení vnitřních ztužidel

Jedná se o kloubově uložený nosník třídy dřeva C24, na který jsou uprostřed nosníku připojeny vnitřní „A“ ztužidla.



Obrázek 5-7. Profil stropního nosníku.



Obrázek 5-8. Umístění stropního nosníku v rovině „A“ ztužidel v prostorovém modelu v softwaru [23].

### Vstupní výpočtové hodnoty:

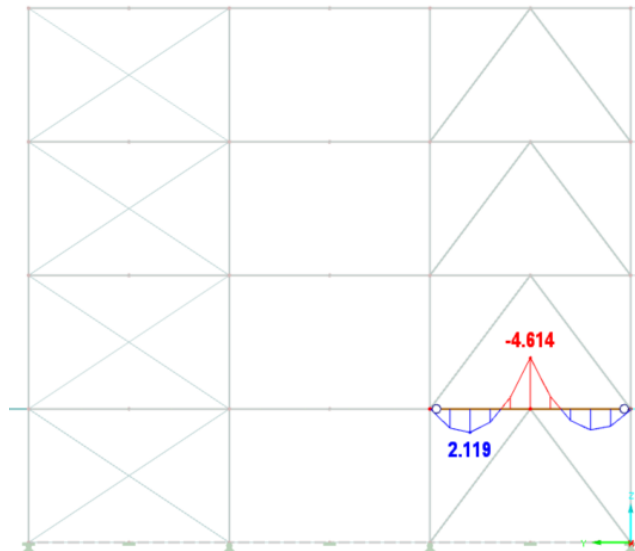
Vstupní hodnoty stejné jako u posudku předešlého nosníku se zde již neopakují.

Šířka průřezu [mm]:	$b$	100
Výška průřezu [mm]:	$h$	260
Délka nosníku [mm]:	$l$	4500
Zatěžovací šířka [mm]:	$\check{s}$	450
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	26000
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_y$	146466666,7
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_y$	1126666,7

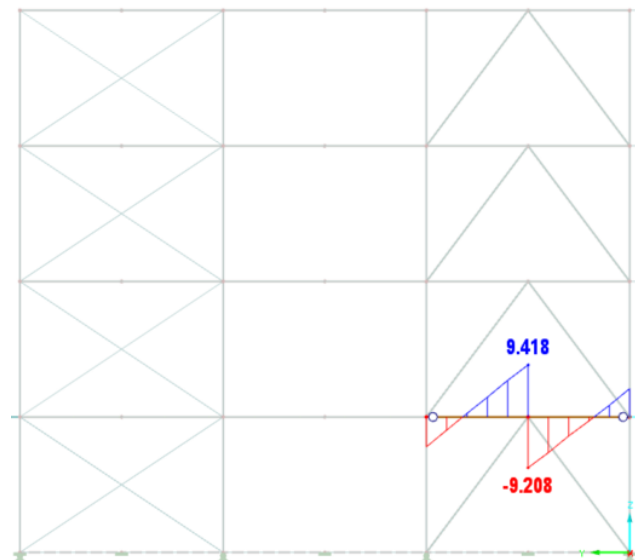
### **5.2.1 Posouzení dle MSÚ**

#### Vnitřní síly:

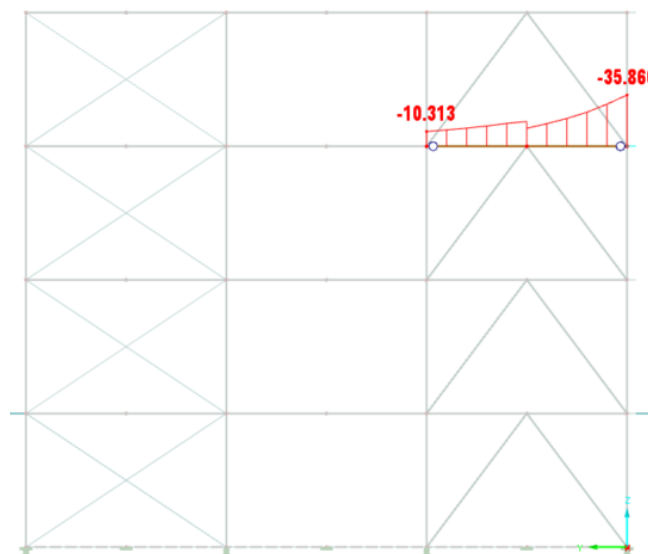
Na obrázcích 5-9 až 5-12 lze vidět výstupy maximálních vnitřních sil ze softwaru [23], které vznikají na stropním nosníku.



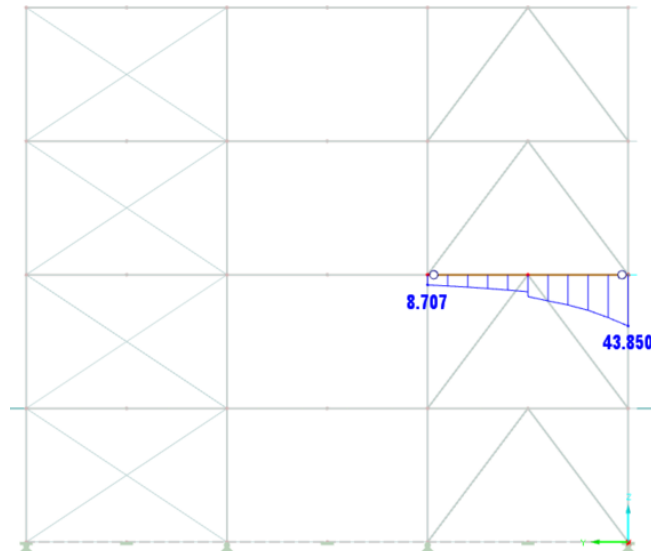
Obrázek 5-9. Maximální ohybový moment  $M_{y,d}$  na stropním nosníku ST1.A20.



Obrázek 5-10. Maximální posouvající síla  $V_{z,d}$  na stropním nosníku ST1.A20



Obrázek 5-11. Maximální tlaková síla  $N_{c,d}$  na stropním nosníku ST3.A10.



Obrázek 5-12. Maximální tahová síla  $N_{t,d}$  na stropním nosníku ST2.A20.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Tabulka 5-3. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla vzniklá na stropním nosníku.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Ohybový moment	$M_{y,d} = -4,614 \text{ kNm}$	Tahová síla	$N_{t,d} = 0,733 \text{ kN}$
Tlaková síla	$N_{c,d} = -35,860 \text{ kN}$	-	-
Tahová síla	$N_{t,d} = 43,850 \text{ kN}$	-	-
Posouvající síla	$V_{z,d} = 9,418 \text{ kN}$	-	-

### Návrhové hodnoty pevnostních vlastností:

Všechny návrhové hodnoty jsou spočteny dle vztahu (5.1) a pro dřevo třídy C24 jsou již spočteny viz tabulka 5-2.

### Posouzení:

Stropní nosník je namáhán kombinací ohybu a tahu, dále prostým tahem, tlakem a smykem.

Proti vybočení z roviny je nosník zajištěn OSB deskami na horním okraji a na spodním systémem latí.

### Namáhání kombinací ohybu a tahu

#### Pro namáhání kombinací ohybu a tahu platí podmínka spolehlivosti dle (5.11):

#### Návrhové napětí v ohybu $\sigma_{m,y,d}$ :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{-4,614 \cdot 10^6}{1126666,7} = -4,1 \text{ MPa}$$

#### Návrhové napětí v tahu $\sigma_{t,0,d}$ :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{733}{26000} = 0,03 \text{ MPa}$$

#### Podmínka spolehlivost je pak dle (5.11):



$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,y,d}} \leq 1,$$

$$\frac{0,03}{8,62} + \frac{4,1}{14,77} \leq 1$$

$$0,28 \leq 1$$

Vyhovuje

### Namáhání tahem

**Pro nosníky namáhané tahem platí podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (5.19)$$

Posouzení nosníku s maximální tahovou silou:

**Návrhové napětí v tahu  $\sigma_{t,0,d}$ :**

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{43850}{26000} = 1,69 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle vztahu (5.19):**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,69}{8,62} \leq 1$$

$$0,20 \leq 1$$

Vyhovuje

**Pro nosníky namáhané vzpěrným tlakem platí stabilitní podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.20)$$

Posouzení nosníku s maximální tlakovou silou  $N_{c,d} = -35,860 \text{ kN}$ :

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-35860}{26000} = -1,37 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.9).

Poloměr setrvačnosti  $i_y$ :

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{146466666,7}{26000}} = 75,05 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu  $\lambda_y$  pro vzpěrnou délku  $L_{cr} = 2250$  mm:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{2250}{75,05} = 29,98$$

Poměrná štíhlost  $\lambda_{rel,y}$ :

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{29,98}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,51$$

Součinitel  $k_y$ :

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2),$$

kde  $\beta_c = 0,2$ .

$$k_y = 0,5 (1 + 0,2(0,51 - 0,3) + 0,51^2) = 0,65$$

Součinitel vzpěrnosti je pak dán vztahem  $k_{c,y}$ :

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,65 + \sqrt{0,65^2 - 0,51^2}} = 0,95$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.20):**

$$\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,37}{0,95 * 12,92} \leq 1$$

$$0,11 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Pro namáhání ve smyku platí podmínka spolehlivosti dle (5.13):**

**Návrhové napětí ve smyku  $\tau_d$ :**

$$\tau_d = \frac{3V_{z,d}}{2 k_{cr} b h'}$$

kde je součinitel trhlin pro rostlé dřevo je  $k_{cr} = 0,67$ .

$$\tau_d = \frac{3 * 9418}{2 * 0,67 * 100 * 260} = 0,81 \text{MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.13):**

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

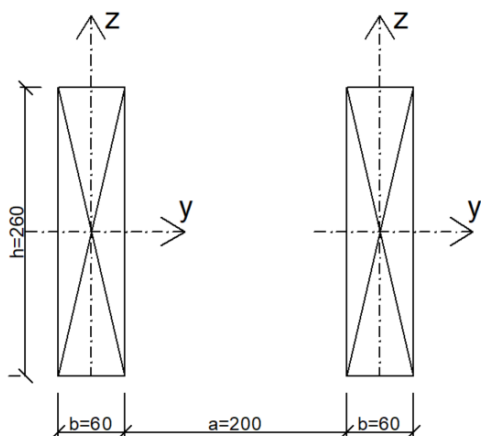
$$\frac{0,81}{1,54} \leq 1$$

$$0,53 \leq 1$$

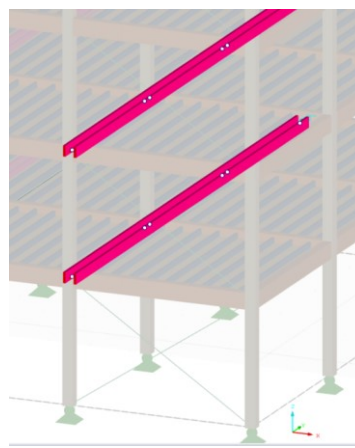
Vyhovuje

### 5.3 Návrh a posudek dvojice stropních nosníků

Jedná se o dvojici stropních nosníků v místě připojení průvlaku a sloupu s třídou dřeva C24. Dvojice nosníků je ve výpočtovém modelu nastavena jako jeden prvek.



Obrázek 5-13. Průřez dvojice stropních nosníků.



Obrázek 5-14. Umístění myšlených stropních nosníků v prostorovém modelu v softwaru [23].

Vstupní výpočtové hodnoty pro jeden nosník:

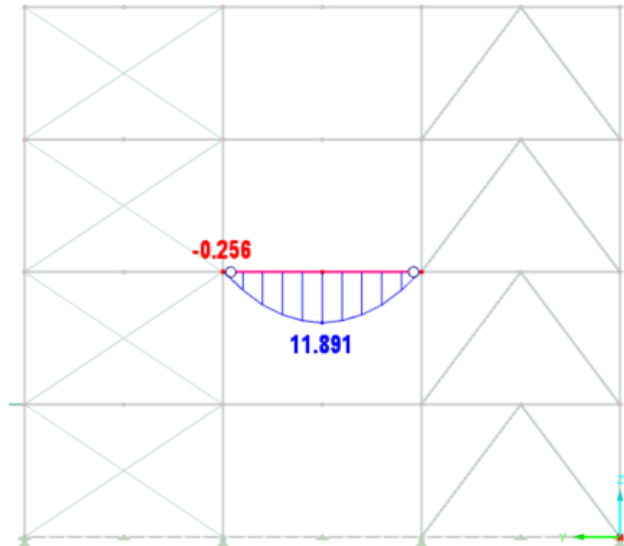
Vstupní hodnoty stejné u posudku předchozích stropních nosníků se zde již neopakují.

Šířka průřezu [mm]:	$b$	60
Výška průřezu [mm]:	$h$	260
Délka nosníku [mm]:	$l$	4500
Zatěžovací šířka [mm]:	$\check{s}$	450
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	15600
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_y$	87880000
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_y$	676000

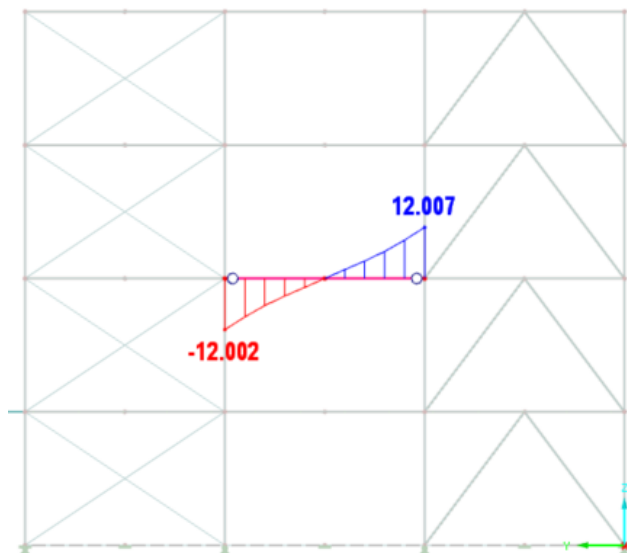
#### 5.3.1 Posouzení dle MSÚ

Vnitřní síly:

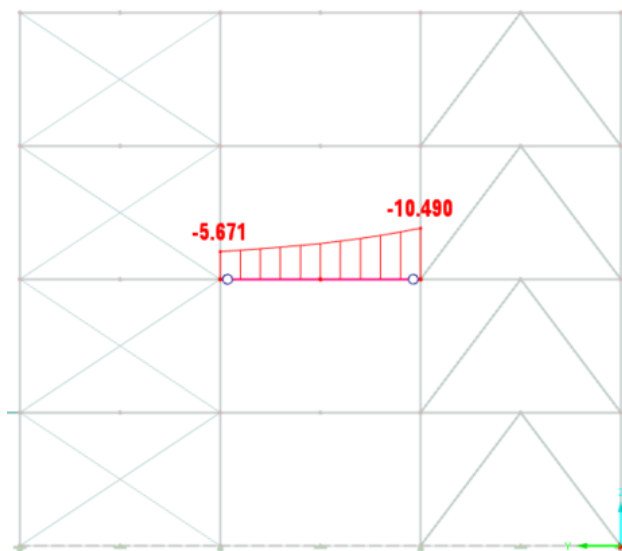
Na obrázcích 5-15. až 5-18. lze vidět výstupy maximálních vnitřních sil ze softwaru [23], které vznikají na dvojici stropních nosníků.



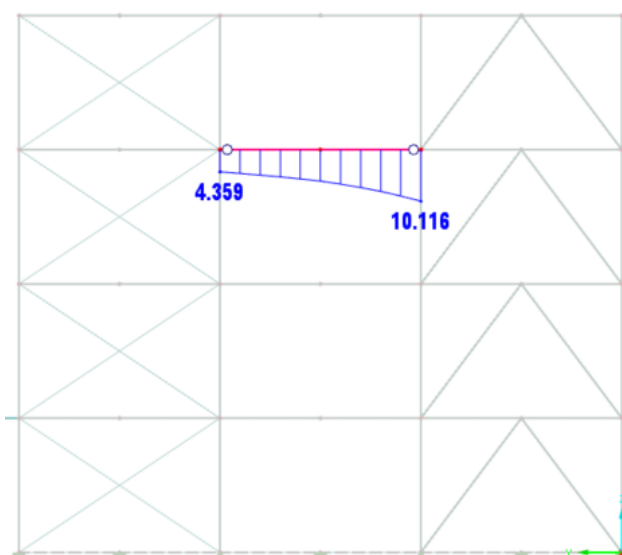
Obrázek 5-15. Maximální ohybový moment  $M_{y,d}$  na stropním nosníku ST2.B20



Obrázek 5-16. Maximální posouvající síla  $V_{z,d}$  na stropním nosníku ST2.B20



Obrázek 5-17. Maximální normálová tlaková síla  $N_{c,d}$  na stropním nosníku ST2.B20



Obrázek 5-18. Maximální normálová tahová  $N_{t,d}$  síla na stropním nosníku STR3.B20.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Tabulka 5-4. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla vzniklá na stropním nosníku.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Ohybový moment	$M_{y,d} = 11,891 \text{ kNm}$	Tlaková síla	$N_{c,d} = -4,358 \text{ kN}$
Tlaková síla	$N_{c,d} = -10,490 \text{ kN}$	Ohybový moment	$M_{y,d} = -0,153 \text{ kNm}$
Tahová síla	$N_{t,d} = 10,116 \text{ kN}$	Ohybový moment	$M_{y,d} = -0,288 \text{ kNm}$
Posouvající síla	$V_{z,d} = 12,007 \text{ kN}$	-	-

Pozn.: Uvedené vnitřní síly jsou pro dvojici nosníku, minimální ohybové momenty v místě uložení nosníku vznikají z důvodu spojitého uložení OSB desky na stropních nosnících.

### Návrhové hodnoty pevnostních vlastností:

Všechny návrhové hodnoty spočteny dle vztahu (5.1) a pro dřevo pevnosti C24 jsou již spočteny viz tabulka 5-2.

## Posouzení:

Stropní nosník je namáhán kombinací ohybu a tlaku, kombinací ohybu a tahu a prostým smykem.

Proti vybočení z roviny je nosníky zajištěn OSB deska na horním okraji a na spodním systémem latí.

## Kombinace namáhání ohybu a tlaku

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a tlaku platí stabilitní podmínka spolehlivosti pro jeden nosník dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1,$$

kde  $k_{crit} = 1$ .

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 11,891$  kNm:

**Návrhové napětí v ohybu pro jeden nosník  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{11,560}{2} * 10^6 = 8,8 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku pro jeden nosník  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A} = \frac{-4358}{15600} = -0,14 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti pro jeden nosník  $k_{c,y}$ :**

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.9) a jeho hodnota je stejná jako pro nosníky v kapitole 5.1.1.

Součinitel vzpěrnosti je pak:

$$k_{c,y} = 0,68$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{8,8}{1 * 14,77} \right)^2 + \frac{0,14}{0,68 * 12,92} \leq 1$$

$$0,37 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Posouzení kombinace s maximálním normálovou tlakovou silou  $N_{c,d} = -10,490$  kN:

**Návrhové napětí v ohybu pro jeden nosník  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{-0,153}{2} * 10^6}{676000} = -0,11 \text{MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku pro jeden nosník  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-10490}{15600} = -0,33 \text{MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Je stejný jako v předchozí kombinaci namáhání.

$$k_{c,y} = 0,68$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{-0,11}{1 * 14,77} \right)^2 + \frac{0,33}{0,68 * 12,92} \leq 1$$

$$0,04 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a osového tlaku platí podmínka spolehlivosti dle (5.10):**

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 11,891 \text{ kNm}$ :

**Podmínka spolehlivosti dle (5.10):**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{8,8}{14,77} + \left( \frac{-0,14}{12,92} \right)^2 \leq 1$$

$$0,60 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Posouzení kombinace s maximální normálovou tlakovou silou  $N_{c,d} = -10,490 \text{ kN}$ :

**Podmínka spolehlivosti dle (5.10):**

$$\frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{0,11}{14,77} + \left( \frac{-0,33}{12,92} \right)^2 \leq 1$$

$$0,01 \leq 1$$

**Vyhovuje**

## Kombinace namáhání ohybu a tahu

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a tahu platí podmínka spolehlivosti dle (5.11):**

Posouzení kombinace s maximálním normálovou tahovou silou  $N_{t,d} = 6,495$  kN:

Návrhové napětí v ohybu pro jeden nosník  $\sigma_{m,y,d}$ :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{-0,288}{2} * 10^6}{676000} = -0,21 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v tahu pro jeden nosník  $\sigma_{t,0,d}$ :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{10116}{15600} = 0,32 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivost je pak dle vztahu (5.11):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,32}{8,62} + \frac{0,21}{14,77} \leq 1$$

$$0,05 \leq 1$$

Vyhovuje

## Namáhání smykem

**Pro nosníky namáhané smykem platí podmínka spolehlivosti dle (5.13):**

Návrhové napětí ve smyku  $\tau_d$  pro jeden nosník:

$$\tau_d = \frac{3V_{z,d}}{2k_{cr} * b * h} = \frac{3 * \frac{12,007}{2} * 10^3}{2 * 0,67 * 60 * 260} = 0,81 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.13):

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,86}{1,54} \leq 1$$

$$0,56 \leq 1$$

Vyhovuje

### 5.3.2 Posouzení dle MSP

Vstupní výpočtové hodnoty:

Charakteristické hodnoty zatížení:



Stálé zatížení [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$g_k$	1,62
Užitné zatížení [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$q_k$	2,8

Přepočet plošného stálého zatížení na zatížení liniové na stropní nosník ( $\check{s} = 0,45$  m):

$$g_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = g_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] \cdot 0,45 \text{ m} = 1,62 \cdot 0,45 = 0,73 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Přepočet plošného užitného zatížení na zatížení liniové na stropní nosník ( $\check{s} = 0,45$  m):

$$q_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = q_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] \cdot 0,45 \text{ m} = 2,8 \cdot 0,45 = 1,26 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

### Posouzení:

Okamžitý průhyb pro jeden nosník:

$$\text{Kde } g_k = g_k/2.$$

$$w_{inst,g} = \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot \frac{0,73}{2} \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 87880000} = 2,02 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení pro jeden:

$$\text{Kde } q_k = q_k/2.$$

$$w_{inst,q} = \frac{5 \cdot \frac{1,26}{2} \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 87880000} = 3,48 \text{ mm}$$

Celkový okamžitý průhyb je dán vztahem:

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,q} = 2,02 + 3,48 = 5,5 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti pro okamžitý průhyb dle vztahu (5.16):**

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$$

$$5,5 \text{ mm} \leq 15 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný průhyb:

Konečný čistý průhyb od stálého zatížení a proměnného zatížení:

$$w_{net,fin} = w_{inst,g}(1 + k_{def}) + w_{inst,q}(1 + \psi_{2,1} k_{def})$$

$$w_{net,fin} = 2,02 \cdot (1 + 0,6) + 3,48 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,6) = 7,33 \text{ mm}$$

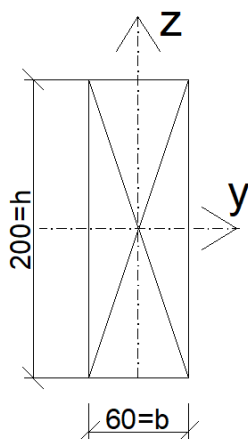
**Podmínka spolehlivosti pro konečný čistý průhyb pro prostý nosník dle vztahu (5.18):**

$$w_{fin,net} \leq \frac{l}{250}$$

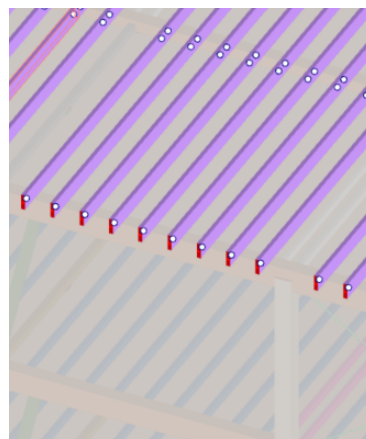
$$7,33 \text{ mm} \leq 18 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

## 5.4 Návrh a posouzení střešního nosníku

Střešní nosník je kloubově uložený nosník z rostlého dřeva třídy C24.



Obrázek 5-19. Profil stropního nosníku.



Obrázek 5-20. Umístění myšlených stropních nosníků v prostorovém modelu v softwaru [23].

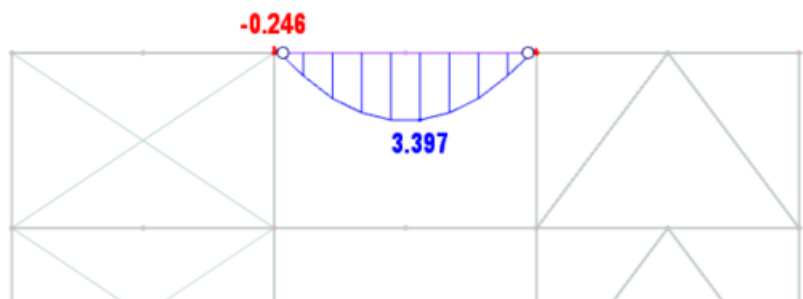
### Vstupní výpočtové hodnoty:

Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		krátkodobé
Šířka průřezu [mm]:	$b$	60
Výška průřezu [mm]:	$h$	200
Zatěžovací šířka [mm]:	$\check{s}$	450
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,9
Součinitel dotvarování [-]:	$k_{def}$	0,6
Dílčí součinitel vlastností materiálů [-]:	$\gamma_M$	1,3
Součinitel pro kvazistálou hodnotu zatížení [-]:		
Pro střechy:	$\psi_2$	0,0
Pro zatížení sněhem:	$\psi_2$	0,0
Pro zatížení větrem:	$\psi_2$	0,0
Součinitel pro kombinační hodnotu zatížení [-]:		
Pro zatížení větrem:	$\psi_0$	0,6
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]:	$E_{0,mean}$	11000
5% kvantil modulu pružnosti [MPa]	$E_{0,05}$	7400
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	12000
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_y$	40000000
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_y$	400000

## 5.4.1 Posouzení dle MSÚ

### Vnitřní síly:

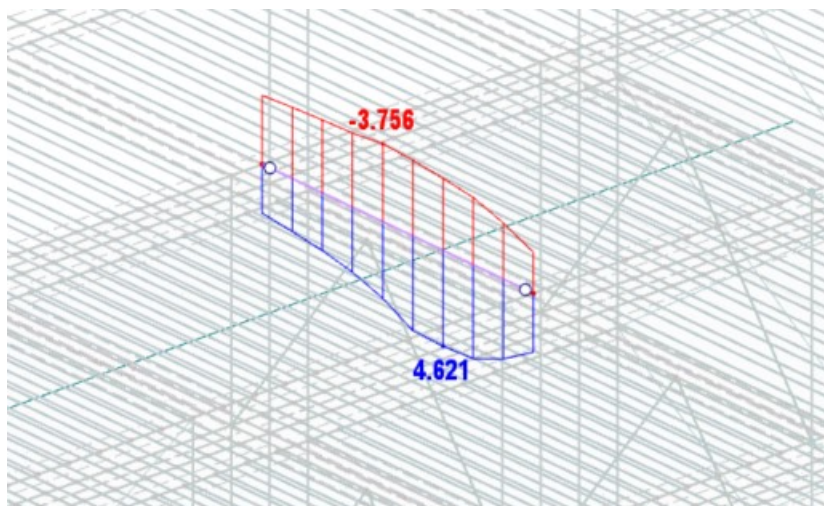
Na obrázcích 5-21 až 5-23 lze vidět výstupy maximálních vnitřních sil ze softwaru [23], které na střešních nosnících vznikají.



Obrázek 5-21. Maximální ohybový moment  $M_{y,d}$  na stropnici ST4.B17.



Obrázek 5-22. Maximální posouvající síla  $V_{z,d}$  na stropním nosníku ST4.B17.



Obrázek 5-23. Obálka maximálních normálových sil, které vzniknou na střešním nosníku ST4.A22. Střešní nosník není v rovině ztužidel.

## Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Tabulka 5-5. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla vzniklá na stropním nosníku.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Ohybový moment	$M_{y,d} = 3,397 \text{ kNm}$	Tlaková síla	$N_{c,d} = -0,334 \text{ kN}$
Tlaková síla	$N_{c,d} = -3,756 \text{ kN}$	Ohybový moment	$M_{y,d} = 0,309 \text{ kNm}$
Tahová síla	$N_{t,d} = 4,621 \text{ kN}$	Ohybový moment	$M_{y,d} = 0,299 \text{ kNm}$
Posouvající síla	$V_{z,d} = -3,246 \text{ kN}$	-	-

## Návrhové hodnoty pevností pro rostlé dřevo C24:

Všechny návrhové hodnoty jsou spočteny dle vztahu (5.1), kde  $k_{mod} = 0,9$ .

Tabulka 5-6. Tabulka charakteristických a návrhových hodnot jednotlivých pevností pro rostlé dřevo C24.

	Charakteristická pevnost [MPa]		Návrhová pevnost [MPa]	
Ohyb	$f_{m,k}$	24	$f_{m,d}$	16,62
Tlak	$f_{c,0,k}$	21	$f_{c,0,d}$	14,54
Tah	$f_{t,0,k}$	14	$f_{t,0,d}$	9,69
Smyk	$f_{v,k}$	2,5	$f_{v,d}$	1,73

## Posouzení

Nosník je namáhán kombinací ohybu a tlaku, kombinací ohybu a tahu prostým smykem.

Proti vybočení z roviny je nosníky zajištěn OSB deska na horním okraji a na spodním systémem latí.

## Kombinace namáhání ohybu a tlaku

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a tlaku platí stabilitní podmínka spolehlivosti dle vztahu (5.2):**

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 3,397 \text{ kNm}$ :

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{3,397 \cdot 10^6}{400000} = 8,49 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-334}{12000} = -0,028 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.19).

Poloměr setrvačnosti  $i_y$ :

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{40000000}{12000}} = 57,74 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu  $\lambda_y$  pro vzpěrnou délku  $L_{cr} = 4500 \text{ mm}$ :

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{4500}{57,74} = 77,94$$

Poměrná štíhlost  $\lambda_{rel,y}$ :

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{77,94}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,32$$

Součinitel  $k_y$ :

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

kde  $\beta_c = 0,2$ .

$$k_y = 0,5 (1 + 0,2(1,32 - 0,3) + 1,32^2) = 1,48$$

Součinitel vzpěrnosti je pak dán vztahem:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,48 + \sqrt{1,48^2 - 1,32^2}} = 0,47$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1,$$

kde  $k_{crit} = 1$ .

$$\left( \frac{8,49}{1 * 16,62} \right)^2 + \frac{0,028}{0,47 * 14,54} \leq 1$$

$$0,27 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Posouzení kombinace s maximální normálovou tlakovou silou  $N_{c,d} = -3,756$  kN:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,309 * 10^6}{400000} = 0,77 \text{MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-3756}{12000} = -0,31 \text{MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Je stejný jako v předchozí kombinaci namáhání.

$$k_{c,y} = 0,47$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{0,77}{1 * 16,62} \right)^2 + \frac{0,31}{0,47 * 14,54} \leq 1$$

$$0,05 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a osového tlaku platí podmínka spolehlivosti dle (5.10):**

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 3,397$  kNm:

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.10):**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{8,49}{16,62} + \left( \frac{-0,028}{14,54} \right)^2 \leq 1$$

$$0,51 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Posouzení kombinace s maximálním normálovou tlakovou silou  $N_{c,d} = -3,756$  kN:

**Podmínka spolehlivosti je pak dle vztahu (5.10):**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{0,77}{16,62} + \left( \frac{-0,31}{14,54} \right)^2 \leq 1$$

$$0,05 \leq 1$$

**Vyhovuje**

## Kombinace ohybu a tahu

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a tahu platí podmínka spolehlivosti dle vztahu (5.11):**

Posouzení kombinace s maximálním normálovou tahovou silou  $N_{t,d} = 4,621$  kN:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,299 * 10^6}{400000} = 0,75 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tahu  $\sigma_{t,0,d}$ :**

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A} = \frac{4621}{12000} = 0,39 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.11):**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,38}{9,69} + \frac{0,75}{16,62} \leq 1$$

$$0,08 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Namáhání smykem**

**Pro namáhání ve smyku platí podmínka spolehlivosti dle (5.13):**

**Návrhové napětí ve smyku  $\tau_d$ :**

$$\tau_d = \frac{3V_{z,d}}{2k_{cr} * b * h} = \frac{3 * (-3246)}{2 * 0,67 * 60 * 200} = -0,61 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.13):**

$$\frac{|\tau_d|}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,61}{1,54} \leq 1$$

$$0,40 \leq 1$$

**Vyhovuje**

## **5.4.2 Posouzení dle MSP**

Vstupní výpočtové hodnoty:

Charakteristické hodnoty zatížení:

Stálé zatížení [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$g_k$	0,82
Zatížení sněhem [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$s$	0,79
Zatížení větrem [kN.m <sup>-2</sup> ]	$w_k$	0,38

Přepoččet plošného stálého zatížení na zatížení liniové na střešní nosník ( $\check{s} = 0,45 \text{ m}$ ):

$$g_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = g_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] * 0,45 \text{ m} = 0,82 * 0,45 = 0,37 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Přepoččet plošného zatížení sněhem na zatížení liniové na střešní nosník ( $\check{s} = 0,45 \text{ m}$ ):

$$s [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = s [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] * 0,45 \text{ m} = 0,79 * 0,45 = 0,36 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Přepočet plošného zatížení větrem na zatížení liniové na střešní nosník ( $s = 0,45$  m):

$$w_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = w_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] * 0,45 \text{ m} = 0,38 * 0,45 = 0,17 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

**Posouzení:**

Okamžitý průhyb:

Okamžitý průhyb od stálého zatížení  $g_k$ :

$$w_{inst,g} = \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} * I_y} = \frac{5 \cdot 0,37 \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 40000000} = 4,48 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od zatížení sněhem  $s$ :

$$w_{inst,s} = \frac{5 \cdot s \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} * I_y} = \frac{5 \cdot 0,36 \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 40000000} = 4,31 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od zatížení větrem  $w_k$ :

$$w_{inst,w_k} = \frac{5 \cdot w_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} * I_y} = \frac{5 \cdot 0,17 \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 40000000} = 2,08 \text{ mm}$$

Celkový okamžitý průhyb je dán vztahem:

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,s} + w_{inst,w_k} = 4,48 + 4,31 + 2,08 = 10,87 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti pro okamžitý průhyb dle (5.16):**

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$$

$$10,87 \text{ mm} \leq 15 \text{ mm}$$

**Vyhovuje**

Konečný průhyb:

Konečný čistý průhyb od stálého zatížení, zatížení sněhem a větrem je dán vztahem:

$$w_{net,fin} = w_{inst,g}(1 + k_{def}) + w_{inst,s_k}(1 + \psi_{2,1} k_{def}) + w_{inst,w_k} * (\psi_{0,2} + \psi_{2,1} k_{def}), \quad (5.21)$$

kde  $k_{def} = 0,6$ , součinitele  $\psi_2$  pro kvazistálou hodnotu zatížení jsou pro zatížení sněhem a větrem nulové a součinitel  $\psi_{0,2}$  pro kombinální hodnotu zatížení je pro vítr  $\psi_{0,2} = 0,6$ .

$$w_{net,fin} = 4,48 * (1 + 0,6) + 4,31 * (1 + 0,6 * 0) + 2,08 * (0,6 + 0,6 * 0) = 12,72 \text{ mm}$$

Podmínka spolehlivosti pro konečný čistý průhyb dle (5.18):

$$w_{fin,net} \leq \frac{l}{250}$$

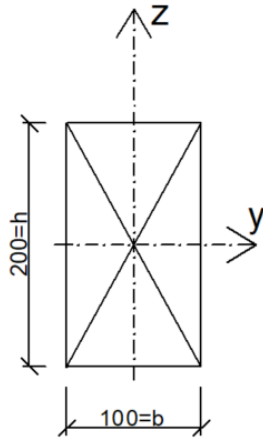
$$12,72 \text{ mm} \leq 18 \text{ mm}$$

**Vyhovuje**

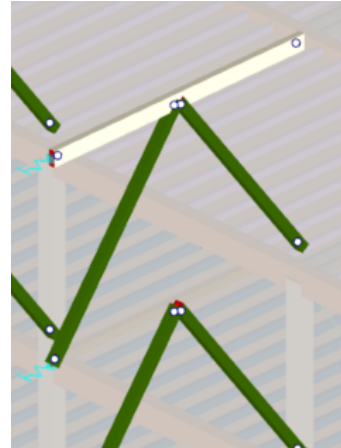


## 5.5 Návrh a posudek střešního nosníku v rovině připojení ztužidel

Jedná se o kloubově uložený nosník, na kterém jsou uprostřed připojeny kloubově ztužidla. Nosník je ze dřeva třídy C24.



Obrázek 5-24. Profil stropního nosníku.



Obrázek 5-25. Umístění stropního nosníku v prostorovém modelu v softwaru [23].

### Vstupní výpočtové hodnoty:

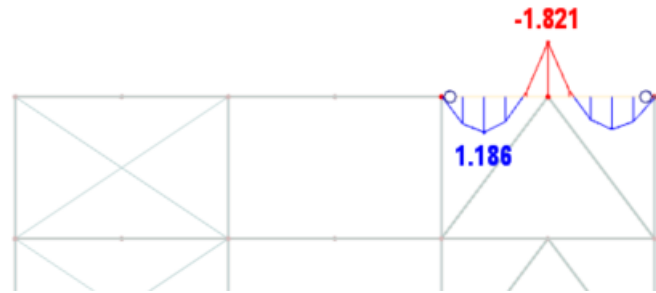
Vstupní hodnoty stejné jako u posudku předchozího střešního nosníku se zde již neopakují.

Šířka průřezu [mm]:	$b$	100
Výška průřezu [mm]:	$h$	200
Zatěžovací šířka [mm]:	$\check{s}$	450
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	20000
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_y$	66666666,67
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_y$	666666,67

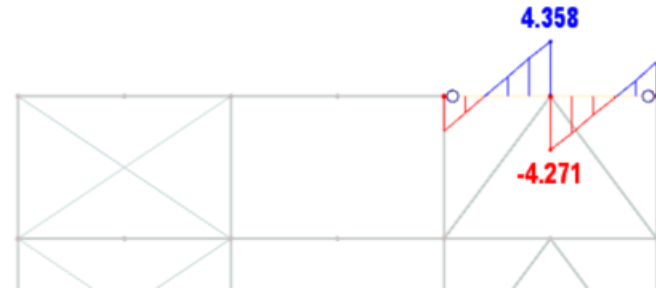
### 5.5.1 Posouzení dle MSÚ

#### Vnitřní síly:

Na obrázcích 5-26 až 5-28 lze vidět výstupy maximálních vnitřních sil ze softwaru [23], které na střešních nosnících vznikají.



Obrázek 5-26. Maximální ohybový moment  $M_{y,d}$  na stropním nosníku ST4.A20



Obrázek 5-27. Maximální posouvající síla  $V_{z,d}$  na stropním nosníku ST4.A20



Obrázek 5-28. Maximální normálová tahová síla  $N_{t,d}$  na stropním nosníku ST4.A20.



Obrázek 5-29. Maximální normálová tlaková síla  $N_{c,d}$  na stropním nosníku STR4.A20.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Tabulka 5-7. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla vzniklá na stropním nosníku.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Ohybový moment	$M_{y,d} = -1,822 \text{ kNm}$	Tahová síla	$N_{t,d} = 1,675 \text{ kN}$
Tlaková síla	$N_{c,d} = -22,080 \text{ kN}$	-	-
Tahová síla	$N_{t,d} = 32,180 \text{ kN}$	-	-
Posouvající síla	$V_{z,d} = 4,358 \text{ kN}$	-	-

### Návrhové hodnoty pevnostních vlastností:

Všechny návrhové hodnoty spočteny dle vztahu (5.1) a pro dřevo pevnosti C24 jsou již spočteny viz tabulka 5-6.

## Posouzení:

Střešní nosník je namáhán kombinací ohybu a tahu, dále prostým tahem, tlakem a smykem.

Proti vybočení z roviny je nosník zajištěn OSB deska na horním okraji a na spodním okraji systémem latí.

## Namáhání ohybem a tahem

### Pro namáhání kombinací ohybu a tahu platí podmínka spolehlivosti dle (5.11):

Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{-1,822 * 10^6}{666666,67} = 2,73 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v tahu  $\sigma_{t,0,d}$ :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{1675}{20000} = 0,08 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivost je pak dle (5.11):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,y,d}|}{f_{m,y,d}} \leq 1,$$

$$\frac{0,08}{9,69} + \frac{2,73}{16,62} \leq 1$$

$$0,17 \leq 1$$

**Vyhovuje**

## Namáhání tahem

### Pro nosníky namáhané tahem platí podmínka spolehlivosti dle (5.19):

Posouzení nosníku s maximální tahovou silou  $N_{t,d} = 32,180 \text{ kN}$ :

Návrhové napětí v tahu  $\sigma_{t,0,d}$ :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{32180}{20000} = 1,61 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivost je pak:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,61}{9,69} \leq 1$$

$$0,17 \leq 1$$

**Vyhovuje**

## Namáhání tlakem

**Pro nosníky namáhané tlakem platí stabilitní podmínka spolehlivosti dle (5.20):**

Posouzení nosníku s maximální tlakovou silou  $N_{c,d} = -22,080$  kN:

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-22080}{20000} = -1,11 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.9).

Poloměr setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{66666666,7}{20000}} = 57,74 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu  $\lambda_y$ , se vzpěrnou délkou  $L_{cr} = 2250$  mm:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{2250}{57,74} = 38,97$$

Poměrná štíhlost  $\lambda_{rel,y}$ :

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{38,97}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,66$$

Součinitel  $k_y$ :

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2),$$

kde  $\beta_c = 0,2$ .

$$k_y = 0,5 (1 + 0,2(0,66 - 0,3) + 0,66^2) = 0,76$$

Součinitel vzpěrnosti je pak dán vztahem:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,76 + \sqrt{0,76^2 - 0,66^2}} = 0,89$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.20):**

$$\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,11}{0,89 * 14,54} \leq 1$$

$$0,09 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Namáhání smykem**

**Pro namáhání ve smyku platí podmínka spolehlivosti dle (5.13):**

Návrhové napětí ve smyku  $\tau_d$ :

$$\tau_d = \frac{3V_{z,d}}{2k_{cr} * b * h} = \frac{3 * 4358}{2 * 0,67 * 100 * 200} = 0,49 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.13):

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

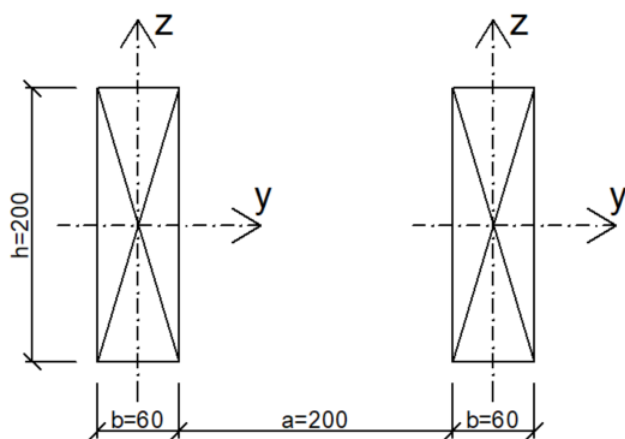
$$\frac{0,49}{1,73} \leq 1$$

$$0,28 \leq 1$$

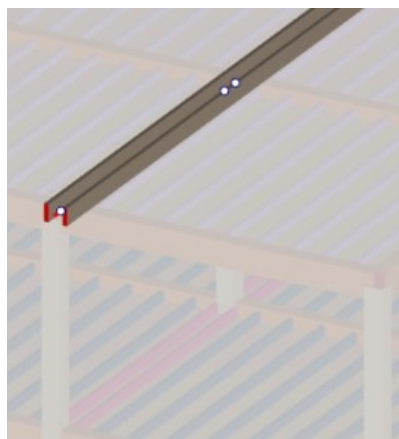
Vyhovuje

## 5.6 Návrh a posudek dvojice střešních nosníků

Jedná se o kloubově uloženou dvojici nosníků dřeva třídy C24.



Obrázek 5-30. Profil stropního nosníku.



Obrázek 5-31. Umístění myšlených stropních nosníků v prostorovém modelu v softwaru [23].

**Vstupní výpočtové hodnoty:**

Vstupní hodnoty pro předchozí střešní nosníky se zde již neopakují.

Šířka průřezu [mm]:	$b$	60
Výška průřezu [mm]:	$h$	200
Zatěžovací šířka [mm]:	$\check{s}$	450
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	12000
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_y$	40000000
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_y$	400000

## 5.6.1 Posouzení dle MSÚ

### Vnitřní síly:

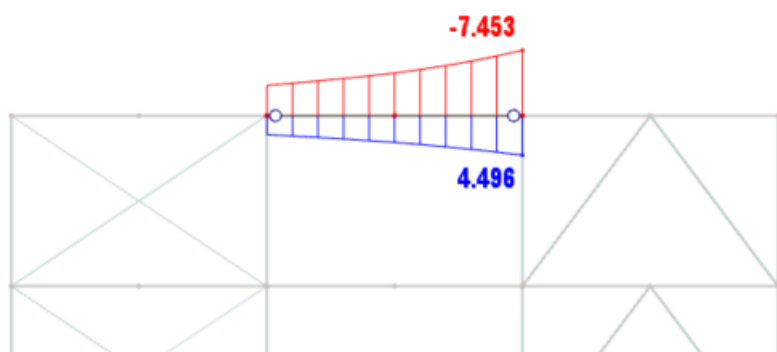
Na obrázku 5-32 až 5-34 lze vidět výstupy maximálních vnitřních sil ze softwaru [23], které na střešních nosnících vznikají.



Obrázek 5-32. Maximální ohybový moment  $M_{y,d}$  na střešním nosníku ST4.B21



Obrázek 5-33. Maximální posouvající síla  $V_{z,d}$  na střešním nosníku ST4.B21



Obrázek 5-34. Obálka maximálních normálových sil  $N_d$  na střešním nosníku ST4.B21.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Tabulka 5-8. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla vzniklá na stropním nosníku.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Ohybový moment	$M_{y,d} = -5,690 \text{ kNm}$	Tlaková síla	$N_{c,d} = -1,764 \text{ kN}$
Tlaková síla	$N_{c,d} = -7,453 \text{ kN}$	-	-
Tahová síla	$N_{t,d} = 4,496 \text{ kN}$	-	-
Posouvající síla	$V_{z,d} = 5,826 \text{ kN}$	-	-

Pozn.: Uvedené vnitřní síly jsou pro dvojici nosníku.

### Návrhové hodnoty pevnostních vlastností:

Všechny návrhové hodnoty spočteny dle vztahu (5.1) a pro dřevo pevnosti C24 jsou již spočteny viz tabulka 5-6.

### Posouzení:

Střešní nosník je namáhán kombinací ohybu a tlaku, prostým tahem, tlakem a smykem.

Proti vybočení z roviny je nosník zajištěn OSB deska na horním okraji a na spodním okraji systémem latí.

### Kombinace namáhání ohybu a tlaku

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a tlaku platí stabilitní podmínka spolehlivosti pro jeden nosník dle (5.2):**

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 5,690$  kNm:

**Návrhové napětí v ohybu pro jeden nosník  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{5,690}{2} * 10^6}{400000} = 7,11 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku pro jeden nosník  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-1764}{12000} = -0,08 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti pro jeden nosník  $k_{c,y}$ :**

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.19) a jeho hodnota je stejná jako pro nosníky v kapitole 5.4.1.

Součinitel vzpěrnosti je:

$$k_{c,y} = 0,47$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

kde  $k_{crit} = 1$ .

$$\left( \frac{7,11}{1 * 16,62} \right)^2 + \frac{0,08}{0,47 * 14,54} \leq 1$$

$$0,20 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a osového tlaku platí podmínka spolehlivosti dle (5.10):**

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 5,690$  kNm:

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.10):**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{7,11}{16,62} + \left( \frac{-0,08}{14,54} \right)^2 \leq 1$$

$$0,43 \leq 1$$

**Vyhovuje**

### Namáhání tahem

**Pro nosníky namáhané tahem platí podmínka spolehlivosti dle (5.19):**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

Posouzení nosníku s maximální tahovou silou  $N_{t,d} = 4,496$  kN:

**Návrhové napětí v tahu pro jeden nosník  $\sigma_{t,0,d}$ :**

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{4496}{12000} = 0,375 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.19):**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,375}{9,69} \leq 1$$

$$0,04 \leq 1$$

**Vyhovuje**

### Namáhání tlakem

**Pro nosníky namáhané prostým tlakem platí stabilitní podmínka spolehlivosti (5.20):**

Posouzení nosníku s maximální tlakovou silou  $N_{c,d} = -7,453$  kN:

**Návrhové napětí v tlaku pro jeden nosník  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{-7453}{12000} = -0,621 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.9) a z kombinace namáhání ohybu a tlaku je jeho hodnota:



$$k_{c,y} = 0,47$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.20):**

$$\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y}f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,31}{0,47 * 14,54} \leq 1$$

$$0,05 \leq 1$$

**Vyhovuje**

### Namáhání smykem

**Pro namáhání ve smyku platí podmínka spolehlivosti dle (5.13):**

**Návrhové napětí ve smyku  $\tau_d$ :**

$$\tau_d = \frac{3V_{z,d}}{2k_{cr} * b * h} = \frac{3 * \frac{5826}{2}}{2 * 0,67 * 60 * 200} = 0,54 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.13):**

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,54}{1,54} \leq 1$$

$$0,35 \leq 1$$

**Vyhovuje**

## 5.6.2 Posouzení dle MSP

Vstupní výpočtové hodnoty:

Charakteristické hodnoty zatížení:

Stálé zatížení [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$g_k$	0,82
Zatížení sněhem [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$s$	0,79
Zatížení větrem [kN.m <sup>-2</sup> ]	$w_k$	0,38

Přepoččet plošného stálého zatížení na zatížení liniové na střešní nosník ( $\check{s} = 0,45 \text{ m}$ ):

$$g_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = g_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] * 0,45 \text{ m} = 0,82 * 0,45 = 0,37 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Přepoččet plošného zatížení sněhem na zatížení liniové na stropní nosník ( $\check{s} = 0,45 \text{ m}$ ):

$$s [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = s [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] * 0,45 \text{ m} = 0,79 * 0,45 = 0,36 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Přepoččet plošného zatížení větrem na zatížení liniové na stropní nosník ( $\check{s} = 0,45 \text{ m}$ ):

$$w_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] = w_k [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] * 0,45 \text{ m} = 0,38 * 0,45 = 0,17 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

## Posouzení:

### Okamžitý průhyb:

Okamžitý průhyb od stálého zatížení pro jeden nosník:

Kde  $g_k = g_k/2$ .

$$w_{inst,g} = \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot \frac{0,37}{2} \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 40000000} = 2,25 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od zatížení sněhem zatížení pro jeden nosník:

Kde  $s = s/2$ .

$$w_{inst,s} = \frac{5 \cdot s_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot \frac{0,36}{2} \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 87880000} = 2,18 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od zatížení větrem pro jeden nosník:

Kde  $w_k = w_k/2$ .

$$w_{inst,w_k} = \frac{5 \cdot w_k \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot \frac{0,17}{2} \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 40000000} = 1,03 \text{ mm}$$

Celkový okamžitý průhyb je dán vztahem:

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,s} + w_{inst,w_k} = 2,25 + 2,18 + 1,03 = 5,46 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti pro okamžitý průhyb dle (5.16):**

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$$

$$5,46 \text{ mm} \leq 15 \text{ mm}$$

**Vyhovuje**

### Konečný průhyb:

Konečný čistý průhyb od stálého zatížení, zatížení sněhem a větrem:

$$w_{net,fin} = w_{inst,g}(1 + k_{def}) + w_{inst,s} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) + w_{inst,w_k} * (\psi_{0,2} + \psi_{2,1} k_{def}),$$

$$w_{net,fin} = 2,25 * (1 + 0,6) + 2,18 * (1 + 0,6 * 0) + 1,03 * (0,6 + 0,6 * 0) = 6,40 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti pro konečný čistý průhyb pro prostý nosník dle (5.18):**

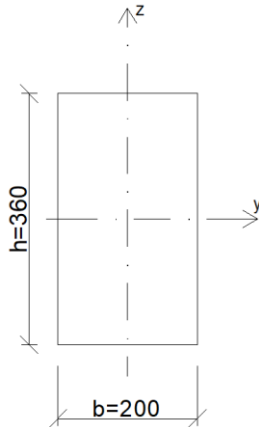
$$w_{fin,net} \leq \frac{l}{250}$$

$$6,40 \text{ mm} \leq 18 \text{ mm}$$

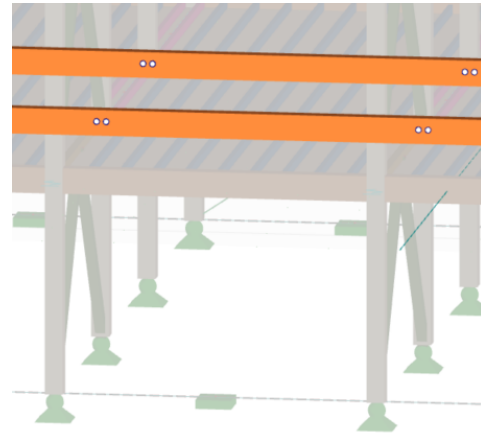
**Vyhovuje**

## 5.7 Návrh a posouzení stropního průvlaku

Stropní průvlak je kloubově uložený nosník z lepeného lamelového dřeva třídy GL32, na který jsou připojeny kloubově stropní nosníky.



Obrázek 5-35. Průřez stropního průvlaku.



Obrázek 5-36. Umístění myšlených stropních průvlaků v prostorovém modelu v softwaru [23].

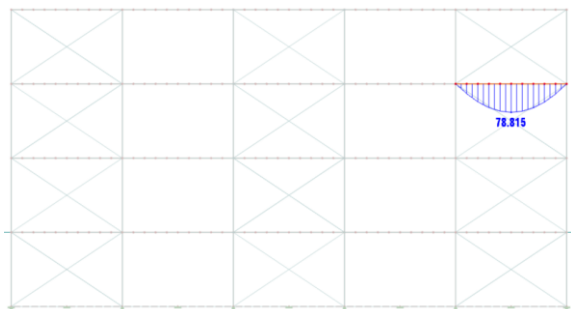
### Vstupní výpočtové hodnoty:

Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		střednědobé
Šířka průřezu [mm]:	$b$	200
Výška průřezu [mm]:	$h$	360
Délka nosníku [mm]:	$l$	4500
Zatěžovací šířka [mm]:	$\check{s}$	4500
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,6
Součinitel dotvarování [-]:	$k_{def}$	0,8
Dílčí součinitel vlastností materiálů [-]:	$\gamma_M$	1,25
Součinitel pro kvazistálou hodnotu zatížení [-]:		
Obytné plochy kategorie A:	$\psi_2$	0,3
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]:	$E_{0,mean}$	13500
5% kvantil modulu pružnosti [MPa]	$E_{0,05}$	10800
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	72000
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_y$	777600000
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_y$	4320000

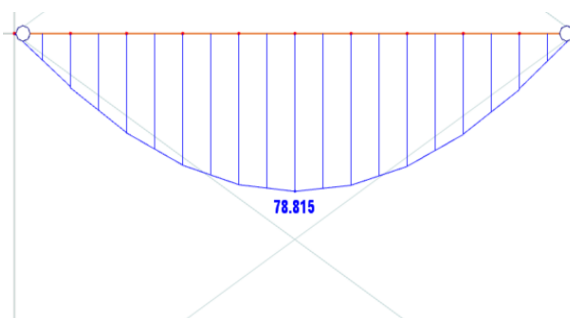
## 5.7.1 Posouzení dle MSÚ

### Vnitřní síly:

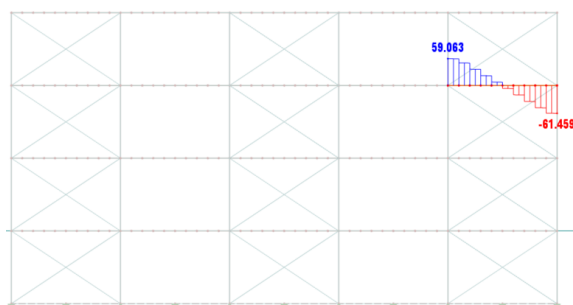
Na obrázku 5-37 až 5-44 lze vidět výstupy maximálních vnitřních sil ze softwaru [23], které na průvlacích vznikají.



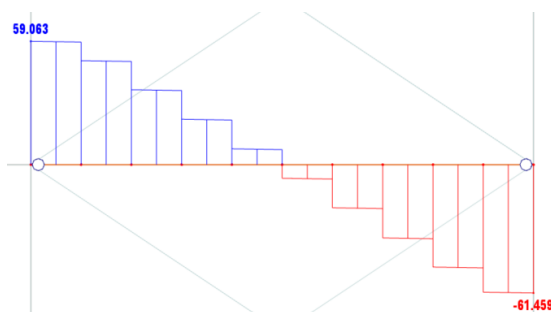
Obrázek 5-37. Maximální ohybový moment na průvlaku PR3.H5 „uvnitř“ budovy v rámci celého modelu.



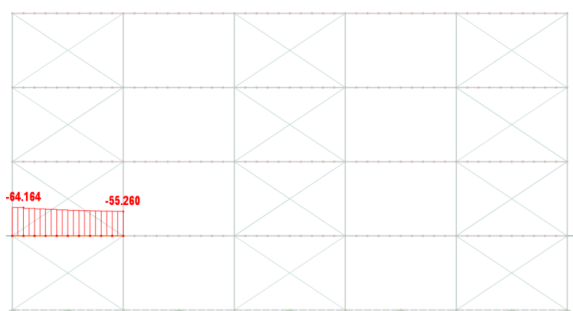
Obrázek 5-38. Detail kloubově uloženého průvlaku a maximálního ohybového momentu z obrázku vlevo.



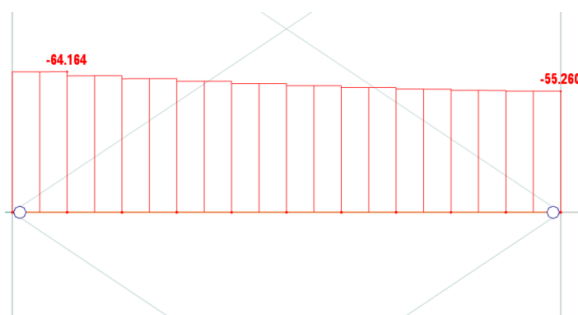
Obrázek 5-39. Maximální posouvající síla na průvlaku PR3.H5 „uvnitř“ budovy v rámci celého modelu.



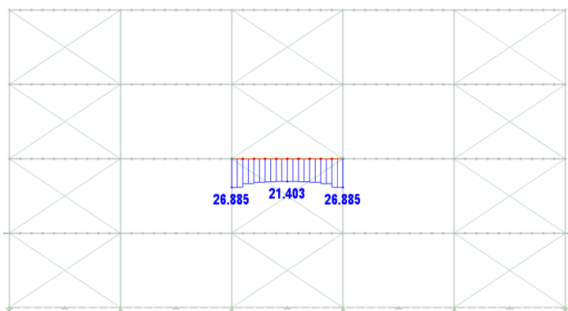
Obrázek 5-40. Detail kloubově uloženého průvlaku a maximální posouvající síla z obrázku vlevo.



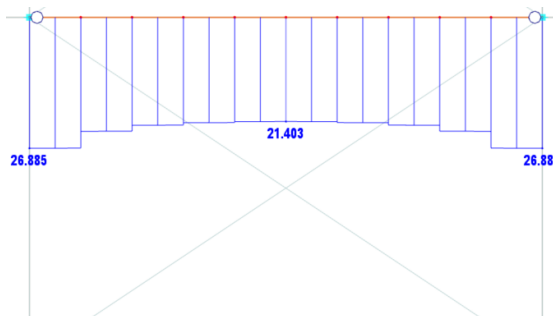
Obrázek 5-41. Maximální normálová tlaková síla na průvlaku PR1.F1 na obvodu budovy v rámci celého modelu



Obrázek 5-42. Detail kloubově uloženého průvlaku s maximální normálovou tahovou silou z obrázku vlevo.



Obrázek 5-43. Maximální normálová tahová síla na průvlaku PR2.F3 na obvodu budovy v rámci celého modelu.



Obrázek 5-44. Detail kloubově uloženého průvlaku s maximální normálovou tahovou silou z obrázku vlevo.

### Návrhové hodnoty vnitřní sil:

Tabulka 5-9. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla vzniklá na stropním nosníku.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Ohybový moment	$M_{y,d} = 78,815 \text{ kNm}$	Tlaková síla	$N_{c,d} = -6,200 \text{ kN}$
Tlaková síla	$N_{c,d} = -64,164 \text{ kN}$	Ohybový moment	$M_{y,d} = 14,795 \text{ kNm}$
Tahová síla	$N_{t,d} = 26,885 \text{ kN}$	-	-
Posouvající síla	$V_{z,d} = -61,459 \text{ kN}$	-	-

### Návrhové hodnoty pevnostních vlastností:

Všechny návrhové hodnoty spočteny dle vztahu (5.1), kde  $\gamma_M = 1,25$  pro lepené lamelové dřevo a  $k_{mod} = 0,8$ .

Tabulka 5-10. Tabulka charakteristických a návrhových hodnot pevnostních dřeva GL 32.

	Charakteristická pevnost [MPa]		Návrhová pevnost [MPa]	
Ohyb	$f_{m,k}$	32	$f_{m,d}$	20,48
Tlak	$f_{c,0,k}$	29	$f_{c,0,d}$	18,56
Tah	$f_{t,0,k}$	24	$f_{t,0,d}$	15,36
Smyk	$f_{v,k}$	3,5	$f_{v,d}$	2,24

### Posouzení

Stropní průvlak je namáhán kombinací ohybu a tlaku, prostým tahem a smykem.

Proti vybočení z roviny je nosníky zajištěn připojeními stropními nosníky a připojeními panely obvodových stěn.

### Kombinace namáhání ohybu a tlaku

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a tlaku platí stabilitní podmínka spolehlivosti dle (5.2):**

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 78,815 \text{ kNm}$ :

Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{78,815 \cdot 10^6}{4320000} = 18,24 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-6200}{72000} = -0,09 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.9).

Poloměr setrvačnosti  $i_y$ :

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{777600000}{72000}} = 103,92 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu  $\lambda_y$  se vzpěrnou délkou  $L_{cr} = 4500$  mm:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{4500}{103,92} = 43,30$$

Poměrná štíhlost  $\lambda_{rel,y}$ :

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{43,30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29}{10800}} = 0,72$$

Součinitel  $k_y$ :

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2),$$

kde  $\beta_c = 0,1$ .

$$k_y = 0,5 (1 + 0,1(0,72 - 0,3) + 0,72^2) = 0,78$$

Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,72^2}} = 0,93$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1,$$

kde  $k_{crit} = 1$ .

$$\left( \frac{18,24}{1 * 20,48} \right)^2 + \frac{0,09}{0,93 * 18,56} \leq 1$$

$$0,80 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Posouzení kombinace s maximálním normálovou tlakovou silou  $N_{c,d} = -64,164$  kN:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{14,795 * 10^6}{4320000} = 3,43 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-64164}{72000} = -0,89 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Je stejný jako v předchozí kombinaci namáhání.

$$k_{c,y} = 0,93$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{3,43}{1 * 20,48} \right)^2 + \frac{0,89}{0,93 * 18,56} \leq 1$$

$$0,08 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a osového tlaku platí podmínka spolehlivosti (5.10):**

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 78,815 \text{ kNm}$ :

Návrhové napětí v ohybu a tlaku je již spočtené pro tuto kombinaci výše u stabilitní podmínky spolehlivosti.

**Podmínka spolehlivosti je pak:**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{18,24}{20,48} + \left( \frac{-0,09}{18,56} \right)^2 \leq 1$$

$$0,89 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Posouzení kombinace s maximálním normálovou tlakovou silou  $N_{c,d} = -64,164 \text{ kN}$ :

Návrhové napětí v ohybu a tlaku je již spočtené pro tuto kombinaci výše u stabilitní podmínky spolehlivosti.

**Podmínka spolehlivosti je pak dle vztahu (5.10):**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{3,43}{20,48} + \left(\frac{-0,89}{18,56}\right)^2 \leq 1$$

$$0,17 \leq 1$$

Vyhovuje

### Namáhání tahem

**Pro nosníky namáhané tahem platí podmínka spolehlivosti dle (5.19):**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

Posouzení nosníku s maximální tahovou silou  $N_t = 26,885$  kN :

**Návrhové napětí v tahu  $\sigma_{t,0,d}$ :**

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{26885}{72000} = 0,37 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.19):**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,37}{15,36} \leq 1$$

$$0,03 \leq 1$$

Vyhovuje

### Namáhání smykem

**Pro namáhání ve smyku platí podmínka spolehlivosti dle (5.13):**

**Návrhové napětí ve smyku  $\tau_d$ :**

$$\tau_d = \frac{3V_{z,d}}{2k_{cr} * b * h}$$

kde je součinitel trhlin pro lepené lamelové dřevo je  $k_{cr} = 0,67$ .

$$\tau_d = \frac{3 * (-61459)}{2 * 0,67 * 200 * 360} = 1,91 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.13):**

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,91}{2,24} \leq 1$$

$$0,85 \leq 1$$

Vyhovuje



## 5.7.2 Posouzení dle MSP

Vstupní výpočtové hodnoty:

Charakteristické hodnoty zatížení:

Stálé zatížení [kN.m <sup>-1</sup> ]:	$g_{pr}$	0,3
Stálé zatížení od stropu [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$g_{kstrop}$	1,62
Užitné zatížení [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$q_k$	0,38

Přepočet plošného stálého zatížení na zatížení liniové na průvlak (š = 4,5 m):

$$g_k \text{ [kN. m}^{-1}\text{]} = g_k \text{ [kN. m}^{-2}\text{]} * 4,5 \text{ m} = 1,62 * 4,5 = 7,29 \text{ kN. m}^{-1}$$

Přepočet plošného užitného zatížení na zatížení liniové na průvlak (š = 4,5 m):

$$q_k \text{ [kN. m}^{-1}\text{]} = q_k \text{ [kN. m}^{-2}\text{]} * 4,5 \text{ m} = 2,8 * 4,5 = 12,6 \text{ kN. m}^{-1}$$

**Posouzení:**

Okamžitý průhyb:

Okamžitý průhyb od stálého zatížení:

$$w_{inst,g} = \frac{5 * (g_{pr} + g_{kstrop}) * l^4}{384 * E_{0,mean} * I_y} = \frac{5 * (0,3 + 7,29) * 4500^4}{384 * 13500 * 777600000} = 3,86 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od užitného zatížení:

$$w_{inst,q} = \frac{5 * q_k * l^4}{384 * E_{0,mean} * I_y} = \frac{5 * 12,6 * 4500^4}{384 * 13500 * 777600000} = 6,41 \text{ mm}$$

Celkový okamžitý průhyb je dán vztahem:

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,q} = 3,86 + 6,41 = 10,27 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti pro okamžitý průhyb je dle (5.16):**

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$$

$$10,27 \text{ mm} \leq 15 \text{ mm}$$

**Vyhovuje**

Konečný průhyb:

Konečný čistý průhyb od stálého a proměnného zatížení:

$$w_{net,fin} = w_{inst,g}(1 + k_{def}) + w_{inst,q}(1 + \psi_{2,1} k_{def}),$$

kde  $k_{def} = 0,6$  a součinitel  $\psi_2 = 0,3$  pro kvazistálou hodnotu užitného zatížení kategorie A.

$$w_{net,fin} = 3,86 * (1 + 0,6) + 6,41 * (1 + 0,6 * 0,3) = 13,74 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti pro konečný čistý průhyb je dle (5.18):**

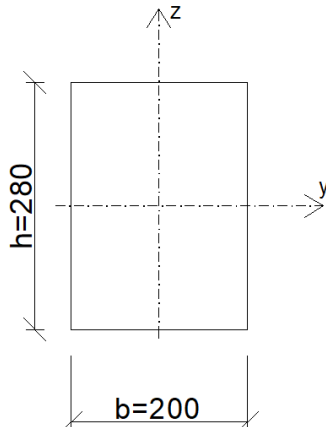
$$w_{fin,net} \leq \frac{l}{250}$$

$$13,74 \text{ mm} \leq 18 \text{ mm}$$

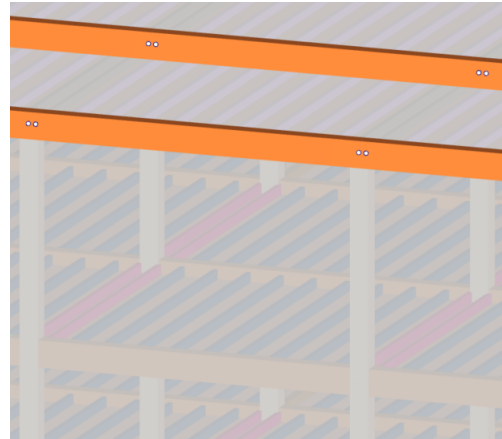
Vyhovuje

## 5.8 Návrh a posouzení střešního průvlaku

Střešní průvlak je kloubově uložený nosník z lepeného lamelového dřeva GL24.



Obrázek 5-45. Profil stropního průvlaku.



Obrázek 5-46. Umístění myšlených střešních průvlaků v prostorovém modelu v softwaru [23].

### Vstupní výpočtové hodnoty:

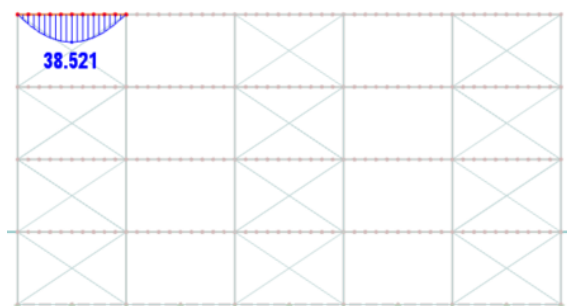
Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		krátkodobé
Šířka průřezu [mm]:	$b$	200
Výška průřezu [mm]:	$h$	280
Zatěžovací šířka [mm]:	$\check{s}$	4500
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,9
Součinitel dotvarování [-]:	$k_{def}$	0,6
Dílčí součinitel vlastností materiálů [-]:	$\gamma_M$	1,25
Součinitel pro kvazistálou hodnotu zatížení [-]:		
Pro střechy:	$\psi_2$	0,0
Pro zatížení sněhem:	$\psi_2$	0,0
Pro zatížení větrem:	$\psi_2$	0,0
Součinitel pro kombinační hodnotu zatížení [-]:		
Pro zatížení větrem:	$\psi_0$	0,6

Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]:	$E_{0,mean}$	11000
5% kvantil modulu pružnosti [MPa]	$E_{0,05}$	8800
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	56000
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_y$	365866666,7
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_y$	2613333,3

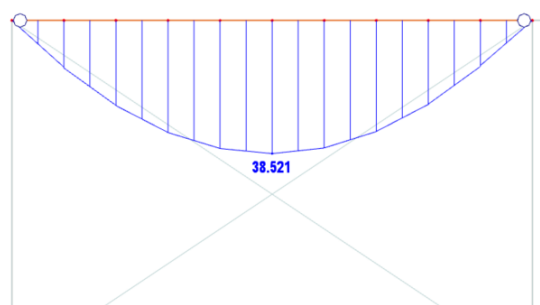
### 5.8.1 Posouzení dle MSÚ

#### Vnitřní síly:

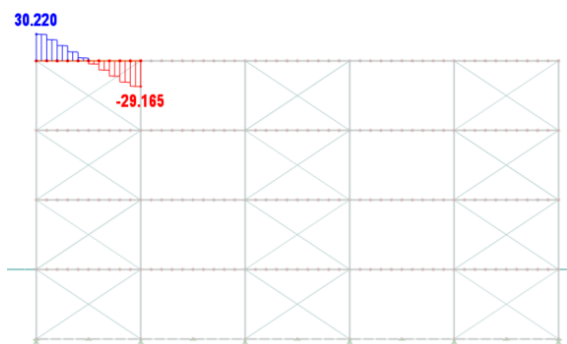
Na obrázku 5-47 až 5-54 lze vidět výstupy maximálních vnitřních sil ze softwaru [23], které na střešním průvlaku vznikají.



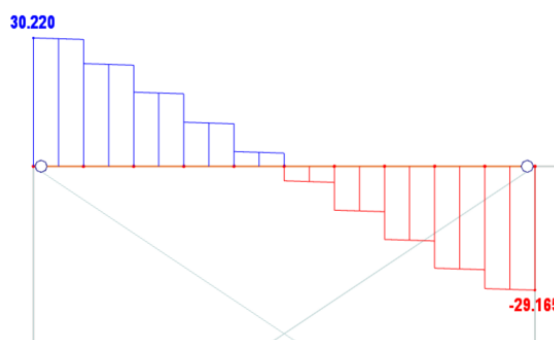
Obrázek 5-47. Maximální ohybový moment na průvlaku SP4.H1 „uvnitř“ budovy v rámci celého modelu.



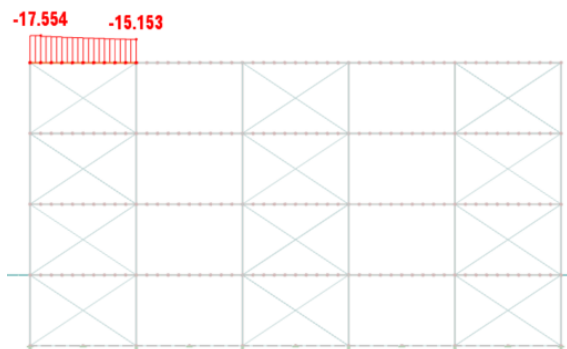
Obrázek 5-48. Detail kloubově uloženého průvlaku a maximálního ohybového momentu z obrázku vlevo.



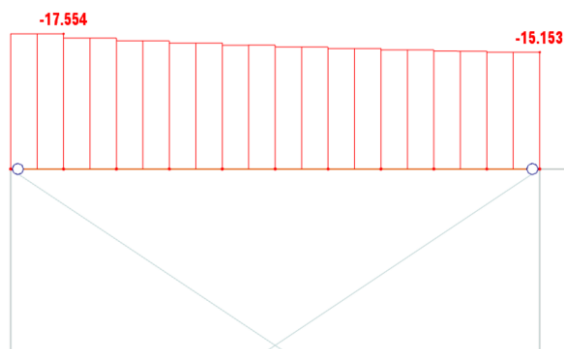
Obrázek 5-49. Maximální posouvající síla na průvlaku SP4.H1 „uvnitř“ budovy v rámci celého modelu.



Obrázek 5-50. Detail kloubově uloženého průvlaku s maximální posouvající silou z obrázku vlevo.



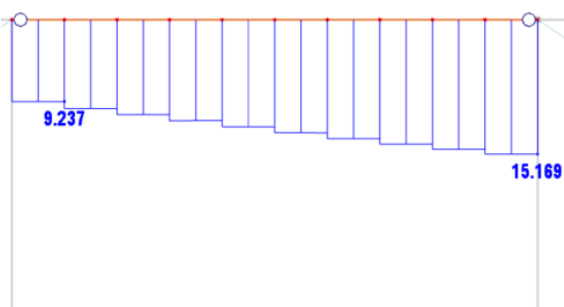
Obrázek 5-51. Maximální normálová tlaková síla na průvlaku STP4.F1 na obvodu budovy v rámci celého modelu.



Obrázek 5-52. Detail kloubově uloženého průvlaku s maximální tlakovou silou z obrázku vlevo.



Obrázek 5-53. Maximální normálová tahová síla na průvlaku STP4.I2 na obvodu budovy v rámci celého modelu.



Obrázek 5-54. Detail kloubově uloženého průvlaku s maximální tahovou silou z obrázku vlevo.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Tabulka 5-11. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla vzniklá na střešním průvlaku.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Ohybový moment	$M_{y,d} = 38,521 \text{ kNm}$	Tlaková	$N_{c,d} = -0,489 \text{ kN}$
Tlaková síla	$N_{c,d} = -17,554 \text{ kN}$	Ohybový moment	$M_{y,d} = 7,918 \text{ kNm}$
Tahová síla	$N_{t,d} = 15,169 \text{ kN}$	-	-
Posouvající síla	$V_{z,d} = 30,220 \text{ kN}$	-	-

### Návrhové hodnoty pevnostních vlastností:

Všechny návrhové hodnoty spočteny dle vztahu (5.1).

kde  $\gamma_M = 1,25$  pro lepené lamelové dřevo a  $k_{mod} = 0,9$ .

Tabulka 5-12. Tabulka charakteristických a návrhových hodnot pevnosti dřeva GL 24.

	Charakteristická pevnost [MPa]		Návrhová pevnost [MPa]	
Ohyb	$f_{m,k}$	24	$f_{m,d}$	17,28
Tlak	$f_{c,0,k}$	18	$f_{c,0,d}$	12,96
Tah	$f_{t,0,k}$	24	$f_{t,0,d}$	17,28
Smyk	$f_{v,k}$	2,8	$f_{v,d}$	2,016

## Posouzení:

Střešní průvlak je namáhán kombinací ohybu a tlaku, prostým tahem a smykem.

Proti vybočení z roviny je nosníky zajištěn připojenými stropnicemi a připojenými panely obvodových stěn.

## Namáhání kombinací ohybu a tlaku

### Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a tlaku platí stabilitní podmínka spolehlivosti (5.2):

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 38,521$  kNm:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{38,521 \cdot 10^6}{2613333,33} = 14,74 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-489}{56000} = -0,01 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.9).

Poloměr setrvačnosti  $i_y$ :

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{365866667}{56000}} = 80,83 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu  $\lambda_y$  pro vzpěrnou délku  $L_{cr} = 4500$  mm:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4500}{80,83} = 55,67$$

Poměrná štíhlost  $\lambda_{rel,y}$ :

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{55,67}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{8800}} = 0,93$$

Součinitel  $k_y$ :

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2),$$

kde  $\beta_c = 0,1$ .

$$k_y = 0,5 (1 + 0,1(0,93 - 0,3) + 0,93^2) = 0,96$$

Součinitel vzpěrnosti je pak dán vztahem  $k_{c,y}$ :

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,96 + \sqrt{0,96^2 - 0,93^2}} = 0,82$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1,$$

kde  $k_{crit} = 1$ .

$$\left( \frac{14,74}{1 * 17,28} \right)^2 + \frac{0,01}{0,82 * 17,28} \leq 1$$

$$0,73 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení kombinace s maximálním normálovou tlakovou silou  $N_{c,d} = -17,554$  kN:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,y,d}$ :**

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{7,918 * 10^6}{2613333,33} = 3,03 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-17,554}{56000} = -0,31 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,y}$ :**

Je stejný jako v předchozí kombinaci namáhání.

$$k_{c,y} = 0,82$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.2):**

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{3,03}{1 * 17,28} \right)^2 + \frac{0,31}{0,82 * 17,28} \leq 1$$

$$0,05 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Pro nosníky namáhané kombinací ohybu a osového tlaku platí podmínka spolehlivosti dle (5.10):**

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = 38,521$  kNm:

Návrhové napětí v ohybu a tlaku je spočteno výše u stabilitní podmínky spolehlivosti.

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.10):**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{14,74}{17,28} + \left( \frac{-0,01}{17,28} \right)^2 \leq 1$$

$$0,85 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Posouzení kombinace s maximální normálovou tlakovou silou  $N_{c,0,d} = -17,554$  kN:

Návrhové napětí v ohybu a tlaku je spočteno výše u stabilitní podmínky spolehlivosti.

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.10):**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{3,03}{17,28} + \left( \frac{-0,31}{17,28} \right)^2 \leq 1$$

$$0,17 \leq 1$$

**Vyhovuje**

### Namáhání tahem

**Pro nosníky namáhané tahem platí podmínka spolehlivosti dle (5.19):**

Posouzení nosníku s maximální tahovou silou  $N_{t,d} = 15,169$ :

**Návrhové napětí v tahu  $\sigma_{t,0,d}$ :**

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{15169}{56000} = 0,27 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.19):**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,27}{12,96} \leq 1$$

$$0,02 \leq 1$$

**Vyhovuje**

### Namáhání smykem

**Pro namáhání ve smyku platí podmínka spolehlivosti dle (5.13):**

**Návrhové napětí ve smyku  $\tau_d$ :**

$$\tau_d = \frac{3V_{z,d}}{2k_{cr}bh} = \frac{3 \cdot 30220}{2 \cdot 0,67 \cdot 200 \cdot 280} = 1,21 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak:**

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,21}{2,016} \leq 1$$

$$0,6 \leq 1$$

**Vyhovuje**

## 5.8.2 Posouzení dle MSP

Vstupní výpočtové hodnoty:

Charakteristické hodnoty zatížení:

Stálé zatížení [kN.m <sup>-1</sup> ]:	$g_{pr}$	0,3
Stálé zatížení od stropu [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$g_{kstrop}$	0,82
Zatížení sněhem [kN.m <sup>-2</sup> ]	$s$	0,79
Zatížení větrem [kN.m <sup>-2</sup> ]:	$w_k$	0,38

Prepočet plošného stálého zatížení na zatížení liniové na střešní průvlak (š = 4,5 m):

$$g_k \text{ [kN.m}^{-1}\text{]} = g_k \text{ [kN.m}^{-2}\text{]} \cdot 4,5 \text{ m} = 0,82 \cdot 4,5 = 3,69 \text{ kN.m}^{-1}$$

Prepočet plošného zatížení sněhem na zatížení liniové na střešní průvlak (š = 4,5 m):

$$s \text{ [kN.m}^{-1}\text{]} = s \text{ [kN.m}^{-2}\text{]} \cdot 0,45 \text{ m} = 0,79 \cdot 4,5 = 3,56 \text{ kN.m}^{-1}$$

Prepočet plošného zatížení větrem na zatížení liniové na střešní průvlak (š = 4,5 m):

$$w_k \text{ [kN.m}^{-1}\text{]} = w_k \text{ [kN.m}^{-2}\text{]} \cdot 4,5 \text{ m} = 0,38 \cdot 4,5 = 1,71 \text{ kN.m}^{-1}$$

**Posouzení:**

Okamžitý průhyb:

Okamžitý průhyb od stálého zatížení:

$$w_{inst,g} = \frac{5 \cdot (g_{pr} + g_{kstrop}) \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot (0,3 + 3,69) \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 365866666,7} = 5,29 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od zatížení sněhem  $s$  :

$$w_{inst,s} = \frac{5 \cdot s \cdot l^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 3,56 \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 365866666,7} = 4,72 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od zatížení větrem:

$$w_{inst,w_k} = \frac{5 \cdot 1,71 \cdot 4500^4}{384 \cdot 11000 \cdot 365866666,7} = 2,27 \text{ mm}$$



Celkový okamžitý průhyb je dán vztahem:

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,s} + w_{inst,w_k} = 5,29 + 4,72 + 2,27 = 12,28 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti pro okamžitý průhyb dle (5.16):**

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$$

$$12,28 \text{ mm} \leq 15 \text{ mm}$$

**Vyhovuje**

Konečný průhyb:

Konečný čistý průhyb od stálého zatížení, zatížení sněhem a větrem je dán vztahem:

$$w_{net,fin} = w_{inst,g}(1 + k_{def}) + w_{inst,s}(1 + \psi_{2,1} k_{def}) + w_{inst,w_k} * (\psi_{0,2} + \psi_{2,1} k_{def}),$$

$$w_{net,fin} = 5,29 * (1 + 0,6) + 4,72 * (1 + 0,6 * 0) + 2,27 * (0,6 + 0,6 * 0) = 14,55 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti pro konečný čistý průhyb dle (5.18):**

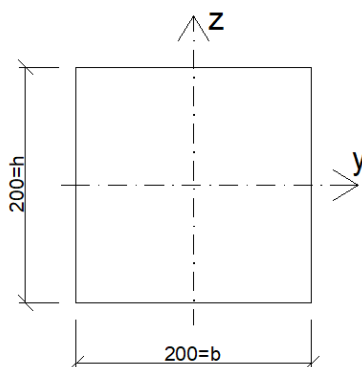
$$w_{fin,net} \leq \frac{l}{250}$$

$$15,55 \text{ mm} \leq 18 \text{ mm}$$

**Vyhovuje**

## 5.9 Návrh a posouzení sloupu

Sloup je prut z lepeného lamelového dřeva GL28. V reálu je sloup připojen pomocí svorníků, blíží se tedy více kloubovému uložení než tuhému. V výpočetním modelu je ale kloub na prutu pouze na jeho začátku.



Obrázek 5-55. Průřez sloupu.

Vstupní výpočtové hodnoty:

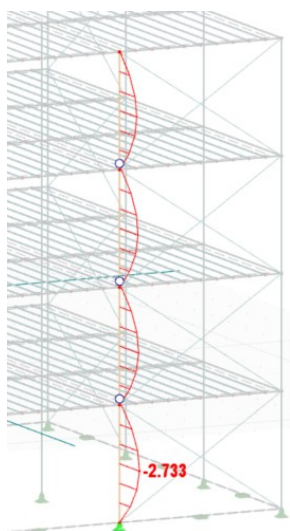
Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		střednědobé
Šířka průřezu [mm]:	$b$	200
Výška průřezu [mm]:	$h$	200

Délka nosníku [mm]:	$l$	3000
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,8
Součinitel dotvarování [-]:	$k_{def}$	0,6
Dílčí součinitel vlastností materiálů [-]:	$\gamma_M$	1,25
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]:	$E_{0,mean}$	12000
5% kvantil modulu pružnosti [MPa]	$E_{0,05}$	9600
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	40000
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_{y,z}$	133333333,3
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_{y,z}$	1333333,33

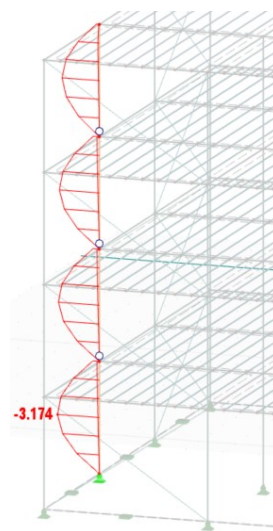
### 5.9.1 Posouzení dle MSÚ

#### Vnitřní síly:

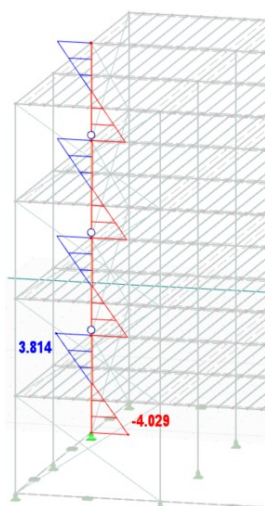
Na obrázcích 5-56 až 5-60 lze vidět výstupy vnitřních sil ze softwaru [23].



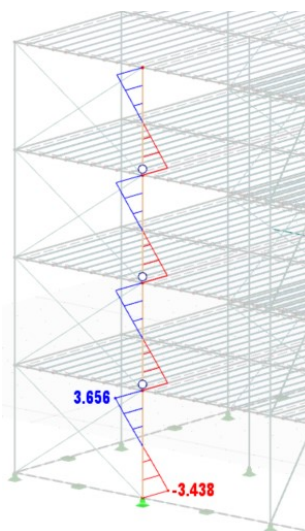
Obrázek 5-56. Maximální ohybový moment  $M_{z,d}$  na sloupu SLF5.



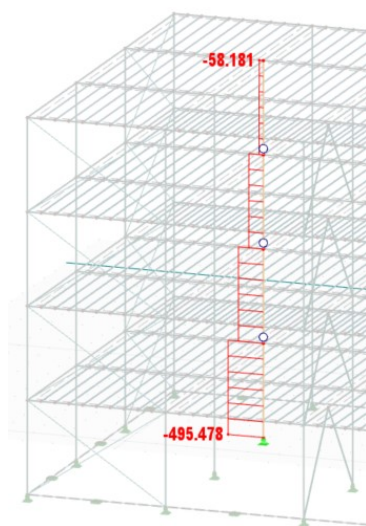
Obrázek 5-57. Maximální ohybový moment  $M_{y,d}$  na sloupu SLG1.



Obrázek 5-58. Maximální posouvající síla  $V_{z,d}$  na sloupu SLG1.



Obrázek 5-59. Maximální posouvající síla  $V_{y,d}$  na sloupu SLF2.



Obrázek 5-60. Maximální normálová tlaková síla  $N_{c,d}$  na sloupu SLH2.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Tabulka 5-13. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla pro danou kombinaci, které vznikly na sloupu.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Ohybový moment	$M_{y,d} = -3,174 \text{ kNm}$	Tlaková síla	$N_{c,d} = -261,447 \text{ kN}$
Ohybový moment	$M_{z,d} = -2,733 \text{ kNm}$	Tlaková síla	$N_{c,d} = -274,232 \text{ kN}$
Tlaková síla	$N_{c,d} = -495,478 \text{ kN}$	-	-
Posouvající síla	$V_{z,d} = -4,029 \text{ kN}$	-	-
Posouvající síla	$V_{y,d} = 3,656 \text{ kN}$	-	-

### Návrhové hodnoty pevnostních vlastností:

Všechny návrhové hodnoty spočteny dle vztahu (5.1).

Tabulka 5-14. Tabulka charakteristických a návrhových hodnot pevnostních dřeva GL28h.

	Charakteristická pevnost [MPa]		Návrhová pevnost [MPa]	
Ohyb	$f_{m,k}$	28	$f_{m,d}$	17,92
Tlak	$f_{c,0,k}$	27	$f_{c,0,d}$	17,28
Tah	$f_{t,0,k}$	21	$f_{t,0,d}$	13,44
Smyk	$f_{v,k}$	3	$f_{v,d}$	1,92

Pozn.: součinitel spolehlivosti pro lepené lamelové dřevo je  $\gamma_M = 1,25$  a modifikační součinitel  $k_{mod} = 0,8$ .

## Posouzení:

Stropní nosník je namáhán kombinací ohybu a tlaku a vzpěrným tlakem.

## Namáhání kombinací ohybu a tlaku

### Pro sloupy namáhané kombinací ohybu a tlaku platí stabilitní podmínka spolehlivosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy,z}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,z,d}}{f_{m,y,z,d}} \leq 1, \quad (5.22)$$

kde  $k_c = k_{cz} = k_{cy}$ .

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{y,d} = -3,174$  kNm:

### Návrhové napětí v ohybu $\sigma_{m,y,d}$ :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{-3,174 \cdot 10^6}{1333333,33} = -2,38 \text{ MPa}$$

### Návrhové napětí v tlaku $\sigma_{c,0,d}$ :

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-261,447}{40000} = -6,54 \text{ MPa}$$

### Součinitel vzpěrnosti $k_c$ :

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.9).

Poloměr setrvačnosti  $i$ :

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{276480000}{57600}} = 57,74 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu  $\lambda$  pro vzpěrnou délku  $L_{cr} = 3000$  mm.

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3000}{57,74} = 51,96$$

Poměrná štíhlost  $\lambda_{rel}$ :

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{51,96}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{8800}} = 0,86$$

Součinitel  $k$ :

$$k = 0,5 (1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2),$$

kde  $\beta_c = 0,1$ .

$$k = 0,5 (1 + 0,1(0,86 - 0,3) + 0,86^2) = 0,90$$

Součinitel vzpěrnosti  $k_c$  je pak dán vztahem:

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

$$k_c = \frac{1}{0,90 + \sqrt{0,90^2 - 0,86^2}} = 0,86$$

**Podmínka spolehlivosti je pak:**

$$\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{cy,z}f_{c,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,y,z,d}|}{f_{m,y,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{6,54}{0,86 * 17,28} + \frac{2,38}{17,92} \leq 1$$

$$0,57 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Posouzení kombinace s maximálním ohybovým momentem  $M_{z,d} = -2,733$  kNm:

**Návrhové napětí v ohybu  $\sigma_{m,z,d}$ :**

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{-2,733 * 10^6}{1333333,33} = -2,05 \text{ MPa}$$

**Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-274,232}{40000} = -6,86 \text{ MPa}$$

**Součinitel vzpěrnosti  $k_c$ :**

Stejný jako v předchozí kombinaci namáhání.

$$k_c = 0,86$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.22):**

$$\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{cy,z}f_{c,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,y,z,d}|}{f_{m,y,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{6,86}{0,86 * 17,28} + \frac{2,03}{17,92} \leq 1$$

$$0,58 \leq 1$$

Vyhovuje

### Namáhání tlakem

**Pro nosníky namáhané tlakem platí stabilitní podmínka spolehlivosti dle (5.20):**

Posouzení nosníku s maximální tlakovou silou  $N_{c,d} = -495,478$  kN :

Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-495478}{40000} = -12,39 \text{ MPa}$$

Součinitel vzpěrnosti  $k$  :

Z předchozí kombinace namáhání:

$$k = 0,86$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.20):**

$$\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{12,39}{0,86 * 17,28} \leq 1$$

$$0,83 \leq 1$$

Vyhovuje

### Namáhání smykem

**Pro namáhání ve smyku platí podmínka spolehlivosti dle (5.13):**

Návrhové napětí ve smyku  $\tau_d$ :

$$\tau_d = \frac{3V_{z,d}}{2k_{cr} * b * h} = \frac{3 * (-4031)}{2 * 0,67 * 200 * 200} = 0,23 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (5.13):**

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

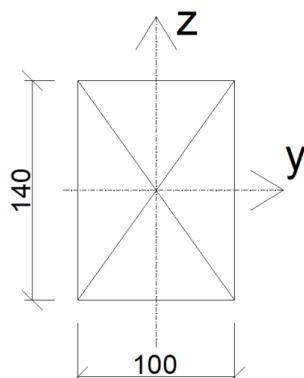
$$\frac{0,23}{2,016} \leq 1$$

$$0,12 \leq 1$$

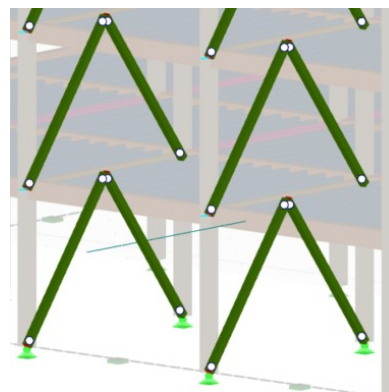
Vyhovuje

## 5.10 Návrh a posouzení vnitřního ztužidla

Ztužidlo je kloubově uložený prut z rostlého dřeva třídy C24.



Obrázek 5-61. Profil ztužidla.



Obrázek 5-62. Umístění myšlených ztužidel dřevěného průřezu v prostorovém modelu v softwaru [23].

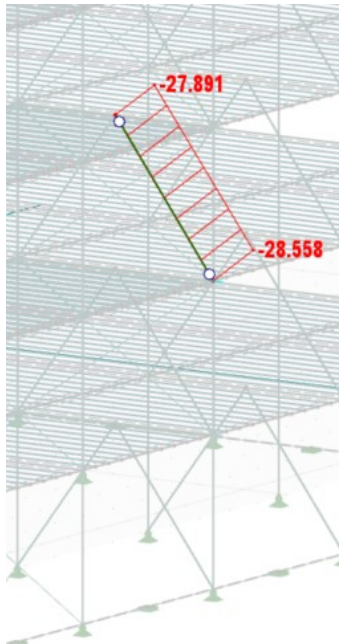
### Vstupní výpočtové hodnoty:

Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		střednědobé
Šířka průřezu [mm]:	$b$	100
Výška průřezu [mm]:	$h$	140
Délka nosníku [mm]:	$l$	3750
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,9
Součinitel dotvarování [-]:	$k_{def}$	0,6
Dílčí součinitel vlastností materiálů [-]:	$\gamma_M$	1,3
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]:	$E_{0,mean}$	11000
5% kvantil modulu pružnosti [MPa]:	$E_{0,05}$	7400
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	14000
Moment setrvačnosti průřezu [mm <sup>4</sup> ]:	$I_y$	22866666,7
	$I_z$	11666666,7
Modul průřezu [mm <sup>3</sup> ]:	$W_y$	326666,7
	$W_z$	233333,33

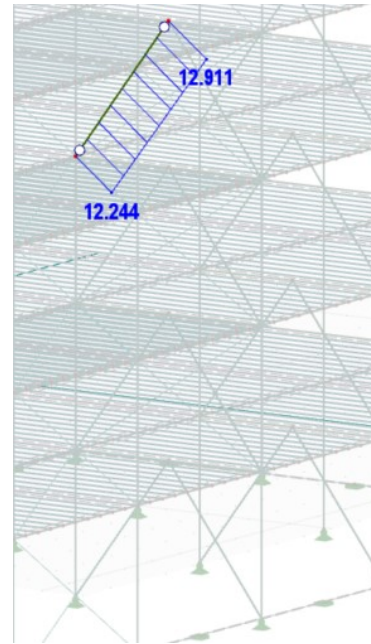
### 5.10.1 Posouzení dle MSÚ

#### Vnitřní síly:

Na obrázcích 5-63. a 5-64. jsou vidět maximální vnitřní síly vznikající ve ztužidlech ukázané v softwaru [23].



Obrázek 5-63. Maximální tlaková síla na ztužidlo ZT3.1.



Obrázek 5-64. Maximální tahová síla na ztužidlo ZT4.2.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Tabulka 5-15. Maximální vnitřní síly a k nim příslušná vnitřní síla pro danou kombinaci, které vznikly na sloupu.

Maximální vnitřní síly		Příslušné vnitřní síly	
Tlaková síla	$N_{c,d} = -28,558 \text{ kN}$	-	-
Tahová síla	$N_{t,0,d} = 12,911 \text{ kN}$	-	-

### Návrhové hodnoty pevnostních vlastností:

Všechny návrhové hodnoty jsou spočteny dle vztahu (5.1) a pro dřevo pevnosti C24 jsou již spočteny viz tabulka 5-6.

### Posouzení:

Ztužidlo je namáháno tlakem a poslední podlaží také tahem.

### Namáhání tlakem

#### **Pro nosníky namáhané tlakem platí stabilitní podmínka spolehlivosti dle (5.20):**

Posouzení nosníku s maximální tlakovou silou  $N_{c,0,d} = -28,558 \text{ kN}$ :

Návrhové napětí v tlaku  $\sigma_{c,0,d}$ :

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{-28,558}{14000} = -2,04 \text{ MPa}$$

Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,z}$ :

Součinitel vzpěrnosti se spočte dle vztahů (5.5) až (5.9).

Poloměr setrvačnosti  $i_z$ :

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{11666666,7}{14000}} = 28,87 \text{ mm}$$



Štíhlost prutu  $\lambda_z$  pro vzpěrnou délku  $L_{cr} = 3750$  mm:

$$\lambda_z = \frac{3750}{28,87} = \frac{L_{cr}}{i} = 129,90$$

Poměrná štíhlost  $\lambda_{rel}$ :

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{129,90}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,20$$

Součinitel  $k_z$ :

$$k_z = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2),$$

kde  $\beta_c = 0,2$ .

$$k_z = 0,5 (1 + 0,2(2,2 - 0,3) + 2,2^2) = 3,11$$

Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,z}$  je pak dán vztahem:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel}^2}}$$
$$k_{c,z} = \frac{1}{3,11 + \sqrt{3,11^2 - 2,2^2}} = 0,188$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.20):**

S použitím menšího součinitele vzpěrnosti

$$\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,03}{0,188 * 14,54} \leq 1$$

$$0,83 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Namáhání tahem**

**Pro nosníky namáhané tahem platí podmínka spolehlivosti (5.19):**

Posouzení nosníku s maximální tahovou silou:

**Návrhové napětí v tahu  $\sigma_{t,0,d}$ :**

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} = \frac{12797}{14000} = 0,91 \text{ MPa}$$

**Podmínka spolehlivost je pak dle (5.19):**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

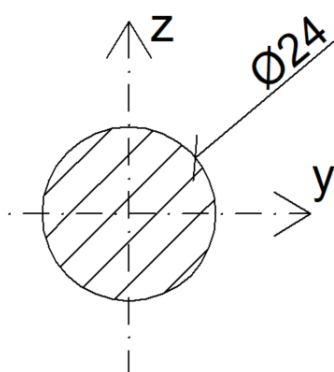
$$\frac{0,91}{9,69} \leq 1$$

$$0,11 \leq 1$$

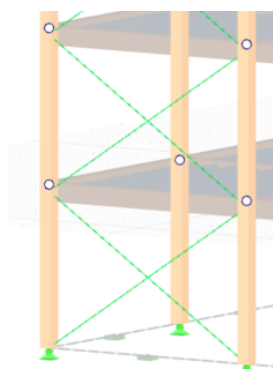
Vyhovuje

## 5.11 Tažené diagonály

Tažená diagonála je oboustranně kloubově připojený prvek z oceli. Jedná se u kulatinu o průměru 24 mm. Táhlo bude ze dvou částí, kde v místě spoje bude vloženo počáteční předpětí pomocí napínací matice. Napínací matice bude z ocelového prvku o průměru závitu 24 mm. Táhlo je na koncích připojeno pomocí koutového svaru k plechu, který je připojen k připojovacímu plechu ocelového svařence pomocí šroubů.



Obrázek 5-65. Profil ocelového táhla.



Obrázek 5-66. Myšlené tažené diagonály v prostorovém modelu v softwaru [23].

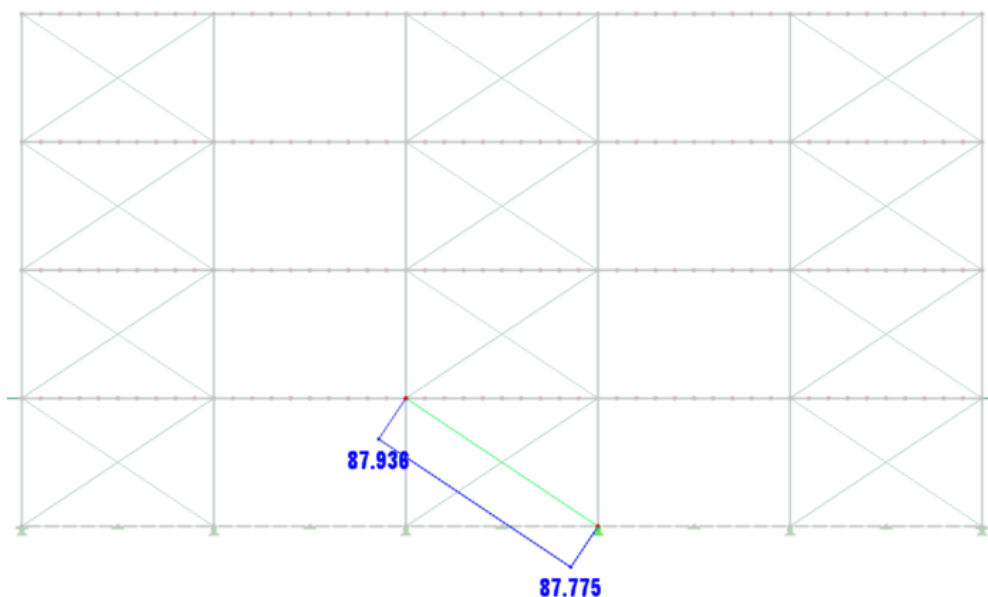
### Vstupní výpočtové hodnoty:

Třída oceli [-]:		S355
Mez kluzu oceli [MPa]:	$f_{y,k}$	355
Mez pevnosti oceli [MPa]:	$f_{u,k}$	490
Průměr tažené diagonály [mm]:	$d_z$	24
Plocha tažené diagonály [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	452,39
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]:	$\gamma_{M0}$	1

### 5.11.1 Posouzení dle MSÚ

#### Vnitřní síly:

Na obrázku 5-67. lze vidět výstup ze softwaru [23] s maximální vnitřní silou v tažené diagonále.



Obrázek 5-67. Maximální tahová normálová síla na diagonále D1.6. V modelu je diagonála nastavena jako tažený prut přenášející pouze tah, proto nejsou v modelu vidět klouby na koncích prutu.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil:

Maximální normálová tahová síla  $N_{t,d} = 87,775$  kN

### Posouzení:

#### Namáhání tahem

#### Pro nosníky namáhané tahem platí podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{t,d}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad (5.23)$$

Návrhová síla  $N_{t,Rd}$ :

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{yk} * A}{\gamma_{M0}} \quad (5.24)$$

kde  $f_{yk}$  je charakteristická hodnota meze kluzu oceli a  $\gamma_{M0}$  je dílčí součinitel spolehlivosti materiálu a pro ocel S355 je  $\gamma_{M0} = 1,0$ .

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{yk} * A}{\gamma_{M0}} = \frac{355 * 452,39 * 10^{-3}}{1} = 160,60 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivost je pak:

$$\frac{N_{t,d}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{87,775}{160,60} \leq 1$$

$$0,55 \leq 1$$

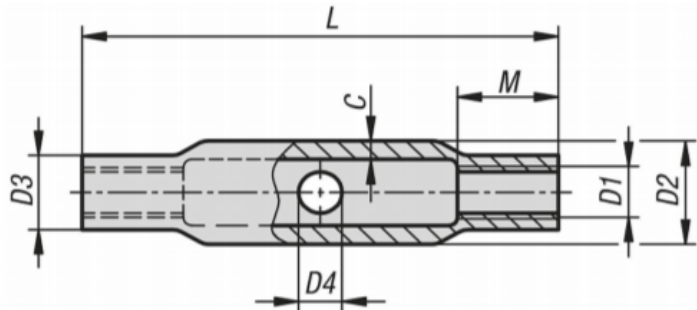
**Vyhovuje**

### 5.11.2 Napnutí tažených diagonál

Napnutí tažených diagonál je provedeno pomocí napínací matice DIN 1478. Jedná se o matici, která má na koncích opačný závít, čímž se při dotažení vyvolá účinek napnutí. Na obrázku 5-68. lze vidět konkrétní napínací matici [45].



Obrázek 5-68. Napínací matice DIN 1478 [45].



Obrázek 5-69. Konstrukční náčrtek a kóty hlavních rozměrů napínací matice [45].

#### Posouzení únosnosti matice:

Únosná síla matice dle výrobce [45]:

$$N_{t,Rdm} = 100 \text{ kN}$$

Maximální vnitřní síla v tažené diagonále:

$$N_{t,d} = 87,775 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti je pak:

$$\frac{N_{t,d}}{N_{t,Rdm}} \leq 1 \quad (5.25)$$

$$\frac{87,775}{100} \leq 1$$

$$0,88 \leq 1$$

Vyhovuje

## 6 Návrh a posouzení spojů

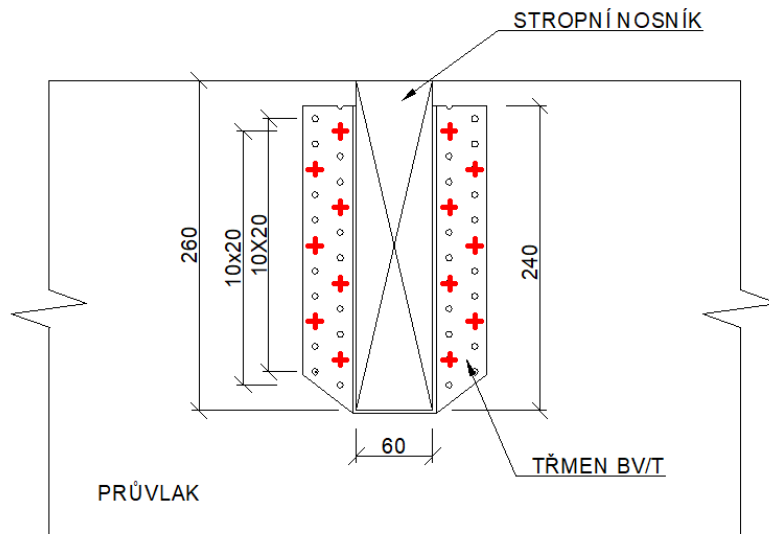
Návrh a posudek vybraných prvků je proveden dle příručky [43] a norem ČSN EN 1993-1-1 [44] a ČSN EN 1993-1-8 [49].

### 6.1 Posouzení únosnosti spoje stropního nosníku a průvlaku

Spoj je proveden pomocí třmenu BV/T 11-40 od firmy Bova spol. [46]. Otvory pro hřebíky ve dřevu budou předvrtány pouze v místech spoje sloupu a průvlaku, kde je nutné snížit vzdálenost od konce na minimum a předvrtaný otvor bude mít rozměr 3 mm. Na spoj budou použity drážkované konvexní hřebíky BH/KH 15-01 také od firmy Bova spol. [47].

## 6.1.1 Posouzení únosnosti spoje ocelového třmenu a průvlaku

Na obrázku 6-1. lze vidět pohled napojení třmenu na stropní průvlak.



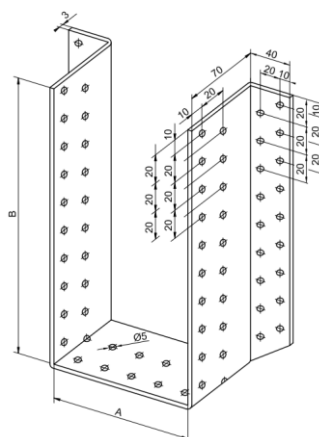
Obrázek 6-1. Připojení stropního nosníku na průvlak. Červeně je značeno umístění hřebíků ve třmenu.

### Vstupní hodnoty a materiálové charakteristiky dřeva:

Pevnostní třída dřeva [-]:		GL32
Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		střednědobé
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,8
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]:	$\gamma_M$	1,25
Hloubka vniku hřebíku do dřeva [-]:	$t_1$	57

### Vstupní hodnoty a materiálové charakteristiky třmenu:

Materiál [-]:		S280GD+Z275
Tloušťka ocelového plechu [mm]:	$t$	1
Výška třmenu [mm]:	$B_{tř}$	240
Šířka třmenu [mm]:	$A_{tř}$	60
Velikost otvoru pro hřebíky [mm]:	$d_0$	57



Obrázek 6-2. Třmen Bova Nail BV/T 11-40 [46].

Materiálové a rozměrové charakteristiky hřebíku:

Průměr hřebíku [mm]:	$d$	4
Délka hřebíku [mm]:	$l_h$	60
Minimální pevnost drátu hřebíku v tahu dle výrobce [MPa]:	$f_u$	600

Vnitřní síly pro posouzení únosnosti hřebíků:

Maximální posouvající síla  $V_{z,d} = 7,072$  kN

Maximální posouvající síla  $V_{y,d} = 1,13$  kN

Maximální normálová tahová síla ve stropním nosníku  $N_{t,d} = 6,502$  kN

Kontrolní výpočet únosnosti hřebíků:

Kontrolní výpočet je proveden pro dřevo třídy C24, modifikační součinitel je použit pro stálé zatížení čili  $k_{mod} = 0,6$  a délka hřebíku je 40 mm, součinitel spolehlivosti materiálu je  $\gamma_M = 1,3$ .

Stanovení tloušťky desky:

Pro tenké desky platí:

$$t \leq 0,5d \tag{6.1}$$

kde  $t$  je tloušťka desky a  $d$  je průměr hřebíku.

$$t = 3 \text{ mm} \leq 0,5 * 4 = 2 \text{ mm} \quad \textbf{Nevyhovuje}$$

Pro tlusté desky platí:

$$t \geq d \tag{6.2}$$

$$t = 3 \text{ mm} \geq d = 4 \text{ mm} \quad \textbf{Nevyhovuje}$$

Dle [43] je možné interpolovat mezi limitními hodnotami únosností pro tenkou a tlustou desku.

Plastický moment únosnosti  $M_{y,Rk}$  pro drážkové hřebíky:

$$M_{y,Rk} = 0,45 * f_{u,k} * d^{2,6} \quad (6.3)$$

kde  $f_{u,k}$  je pevnost drátu hřebíku v tahu.

$$M_{y,Rk} = 0,45 * 600 * 4^{2,6} = 9924,8 \text{ Nmm}$$

Charakteristická hodnota pevnosti v otláčení ve dřevu:

Bez předvrtaných otvorů platí:

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \quad (6.4)$$

$$f_{h,k} = 0,082 * 350 * 4^{-0,3} = 18,94 \text{ N/mm}^2$$

Výpočet charakteristické únosnosti hřebíků pro tenkou desku:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{h,k} t_1 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\} \quad (6.5)$$

kde  $F_{ax,Rk}$  je charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku.  $\frac{F_{ax,Rk}}{4}$  je člen od účinku sepnutí a je zanedbán čili  $\frac{F_{ax,Rk}}{4} = 0$ ,  $t_1$  je hloubka vniku hřebíku do dřeva.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1121 \\ 1410 \end{array} \right\} = 1,12 \text{ kN}$$

Výpočet charakteristické únosnosti hřebíků pro tlustou desku:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ f_{h,k} t_1 d \end{array} \right\}, \quad (6.6)$$

kde člen od účinku sepnutí se zanedbává,  $\frac{F_{ax,Rk}}{4} = 0$ .

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3296 \\ 1994 \\ 2802 \end{array} \right\} = 1,99 \text{ kN}$$

Výsledná charakteristická únosnost hřebíků pro ocelovou desku s tloušťkou  $t_2 = 3 \text{ mm}$ :

Po interpolaci pro desku tloušťky 3 mm:

$$F_{v,Rk} = 1,56 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost jednoho hřebíku dle (5.1) pro rostlé třídy C24:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,6 * \frac{1,56}{1,3} = 0,719 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost jednoho hřebíku dle (5.1) pro rostlé dřevo GL32h:

Výpočet je proveden stejně jako v předchozím postupu, akorát charakteristická hustota dřeva je nyní  $\rho = 440 \text{ kg/m}^3$  a spolehlivostní součinitel je  $\gamma_M = 1,25$ .

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{1,91}{1,25} = 1,22 \text{ kN}$$

Vypočtená návrhová únosnost jednoho hřebíku ve stříhu je u lepeného lamelové dřeva a s délkou hřebíků 60 mm vyšší o 41 %.

### **Návrhová únosnost jednoho hřebíku dle výrobce:**

Únosnost ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 0,71 \text{ kN}$$

Únosnost na vytažení:

$$F_{ax,Rd} = 0,64 \text{ kN}$$

Pro posouzení se bude do výpočtu brát únosnost hřebíku dle výrobce.

### **Posouzení:**

Výsledná síla působící ve stříhu:

$$R = \sqrt{V_{z,d}^2 + V_{y,d}^2} = \sqrt{7,072^2 + 1,13^2} = 7,17 \text{ kN}$$

Celková únosnost ve stříhu pro 14 hřebíků (7 hřebíků na každé rameno třmene):

$$F_{vc,Rd} = n * 0,71 = 14 * 0,71 = 9,94 \text{ kN}$$

Celková únosnost na vytažení pro 14 hřebíků (7 hřebíků na každé rameno třmene):

$$F_{t,Rd} = n * 0,64 = 14 * 0,64 = 8,96 \text{ kN}$$

**Posouzení únosnosti hřebíků ve stříhu:**

$$\frac{R}{F_{vc,Rd}} \leq 1 \tag{6.7}$$

$$\frac{7,17}{9,94} \leq 1$$

$$0,72 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Posouzení hřebíků na vytažení:**



$$\frac{N_{t,d}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (6.8)$$

$$\frac{6,502}{8,52} \leq 1$$

$$0,76 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Kontrola rozmístění hřebíků:

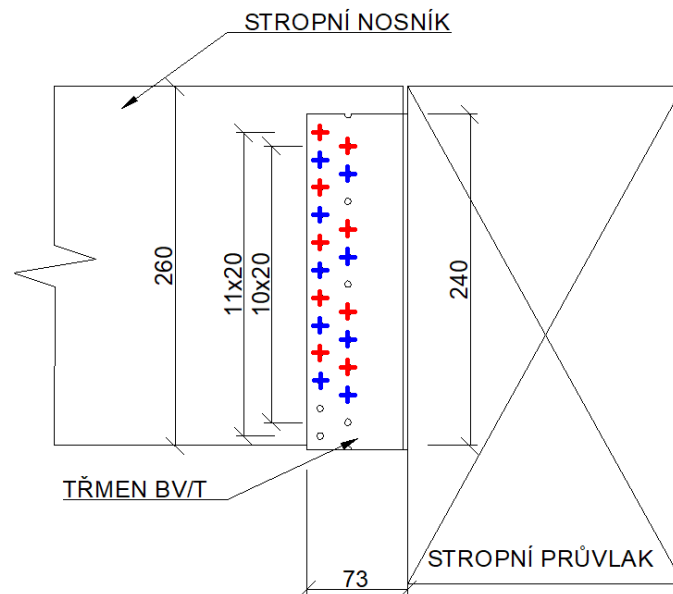
Úhel mezi směrem vláken a působící silou.

$$\alpha = \arctan \frac{V_{z,d}}{V_{y,d}} = \frac{7,02}{1,13} = 80,86^\circ$$

	Úhel $\alpha$ [°]	Minimální rozteč [mm]	Skutečná rozteč [mm]	Posudek
$a_{4,t}$	80,86	$(7 + 2\sin\alpha)d = 35,90$	40	Vyhovuje
$a_{4,c}$	260,86	$7d=28$	140	Vyhovuje

### 6.1.2 Posouzení únosnosti spoje ocelového třmenu a stropního nosníku

Na obrázku 6-3. lze vidět pohled na připojení třmene a stropního nosníku.



Obrázek 6-3. Pohled připojení třmene na stropní nosník. Červeně je označeno umístění hřebíků ve třmenu. Modře je pak značeno umístění hřebíků z druhé strany.

Vstupní hodnoty a materiálové charakteristiky dřeva:

Třída dřeva [-]:		C24
Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		střednědobé
Charakteristická hustota dřeva [kg.m <sup>-3</sup> ]:	$\rho_k$	350
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,8

Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]:	$\gamma_M$	1,3
Hloubka vniku hřebíku do dřeva [-]:	$t_1$	47

Materiálové a rozměrové charakteristiky hřebíku:

Materiálové charakteristiky hřebíků jsou stejné jako u přípoje třmenu a průvlaku, akorát je změnila délka hřebíku, která je  $l_h = 50$  mm.

**Návrhová únosnost jednoho hřebíku dle výrobce:**

Únosnost ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = 0,71 \text{ kN}$$

**Posouzení:**

Výsledná síla působící ve stříhu:

$$R = \sqrt{V_{z,d}^2 + N_{t,d}^2} = \sqrt{7,072^2 + 6,265^2} = 9,45 \text{ kN}$$

Celková únosnost ve stříhu pro 18 hřebíků (9 hřebíků na každé rameno třmene):

$$F_{vc,Rd} = n * 0,71 = 18 * 0,71 = 12,78 \text{ kN}$$

**Posouzení únosnosti hřebíků ve stříhu dle (6.7):**

$$\frac{R}{F_{vc,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{9,45}{12,78} \leq 1$$

$$0,74 \leq 1 \text{ kN}$$

**Vyhovuje**

### 6.1.3 Posouzení plechu třmene

**Posouzení plechu třmene ve smyku:**

Smyková únosnost plechu oslabenými otvory dle výrobce  $F_{US} = 161,84$  kN

$$\frac{V_{z,d}}{F_{US}} \leq 1 \tag{6.9}$$

$$\frac{7,072}{161,84} \leq 1$$

$$0,05 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Posouzení plechu třmene v tahu:**

Únosnost plechu oslabenými otvory v tahu dle výrobce  $F_{UT} = 97,2$  kN

$$\frac{N_{z,d}}{F_{UT}} \leq 1 \tag{6.10}$$

$$\frac{6,265}{97,2} \leq 1$$

$$0,07 \leq 1$$

Vyhovuje

Kontrola rozmístění hřebíků:

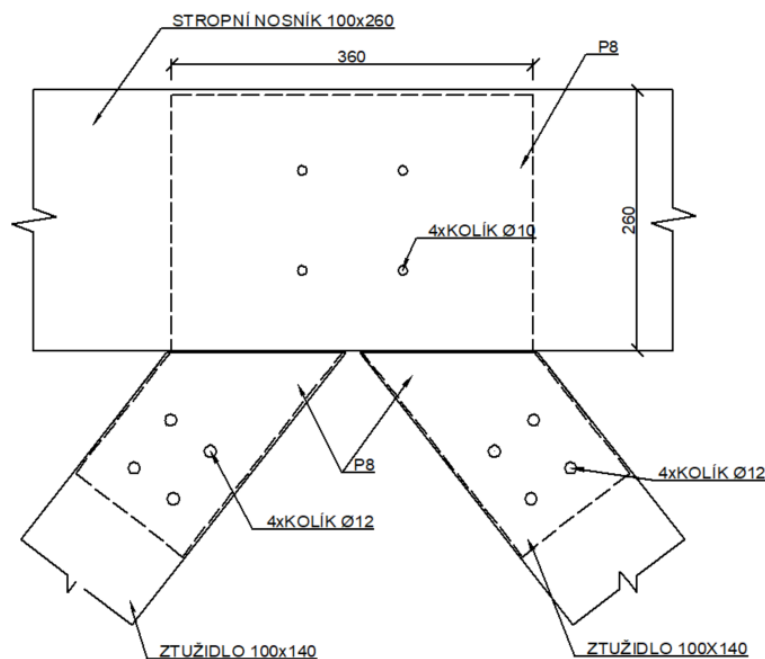
Úhel mezi směrem vláken a působící silou.

$$\alpha = \arctan \frac{V_{z,d}}{N_{t,d}} = \arctan \frac{7,072}{6,265} = 48,46^\circ$$

	Úhel $\alpha$ [°]	Minimální rozteč [mm]	Skutečná rozteč [mm]	Posudek
$a_{4,t}$	48,46	$(5 + 2\sin\alpha)d = 25,99$	37	Vyhovuje
$a_{4,c}$	248,46	$7d=28$	33	Vyhovuje

## 6.2 Návrh a posouzení připojení vnitřního ztužidla ke stropnímu nosníku

Spoj je proveden pomocí vnořených ocelových plechů a kolíků viz obrázek 6-4.



Obrázek 6-4. Schéma připojení vnitřního ztužidla na stropní nosník pomocí kolíků a vnořených ocelových plechů.

### 6.2.1 Posouzení únosnosti spoje v diagonále

Vstupní hodnoty a materiálové charakteristiky dřeva:

Třída dřeva [-]:	C24
Třída provozu [-]:	1
Třída trvání zatížení [-]:	krátkodobé
Charakteristická hustota dřeva [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]:	$\rho_k$ 350

Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,9
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]:	$\gamma_M$	1,3
Tloušťka krajního dřevěného prvku [-]:	$t_1$	46
<u>Materiálové a rozměrové charakteristiky ocelového plechu:</u>		
Třída oceli [-]:		S355
Tloušťka ocelové desky [mm]:	$t$	8
<u>Materiálové a rozměrové charakteristiky kolíků:</u>		
Pevnostní třída kolíků:		4.8
Průměr kolíků [mm]:	$d$	12
Charakteristická únosnost kolíku v tahu [MPa]:	$f_{u,k}$	400

Vnitřní síly, na které je spoj posouzen:

Maximální normálová tlaková síla  $N_{c,0,d} = -28,464$  kN

Maximální normálová tahová síla  $N_{t,0,d} = 12,797$  kN

Spoj posouzen na maximální tlakovou a tahovou sílu v diagonálách v konstrukci.

### **Posouzení návrhové únosnosti kolíků:**

Plastický moment únosnosti  $M_{y,Rk}$  pro kolíky:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (6.11)$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 * 400 * 12^{2,6} = 76745 \text{ Nmm}$$

Charakteristická hodnota pevnosti otláčení ve dřevě rovnoběžně s vlákny  $f_{h,0,k}$ :

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01d) \rho_k \quad (6.12)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * 12) * 350 = 25,26 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

Platí dle vztahu:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,0,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,0,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\} \quad (6.13)$$

Po zanedbání účinků sepnutí spoje ( $\frac{F_{ax,Rk}}{4} = 0$ ):

$$F_{v,Rk} = \min \begin{Bmatrix} 13941 \\ 8008 \\ 11092 \end{Bmatrix} = 8,01 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost jednoho kolíku pro dva stříhy dle (5.1):

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{2F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2 * 8,01}{1,3} = 11,09 \text{ kN}$$

Efektivní počet kolíků v jedné řadě:

Je dán dle vztahu:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right\} \quad (6.14)$$

kde  $n$  je počet kolíků v jedné řadě a  $a_1$  je rozteč mezi kolíky v jedné řadě rovnoběžně s vlákny.

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \\ 2^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{60}{13 * 12}} = 1,47 \end{array} \right\} = 1,47$$

**Celková návrhová únosnost spoje (dvě řady po dvou kolících):**

$$F_{vc,Rd} = 2 * n_{ef} * F_{v,Rd} \quad (6.15)$$

$$F_{vc,Rd} = 2 * 1,47 * 11,09 = 32,58 \text{ kN}$$

**Posouzení kolíků ve stříhu dle (6.7):**

$$\frac{R}{F_{vc,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{28,464}{32,58} \leq 1$$

$$0,87 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení únosnosti proti porušení zátkovým a blokovým smykem:**

Čistá průřezová plocha kolmo k vláknům:

$$A_{net,t} = L_{net} * t_1, \quad (6.16)$$

kde  $L_{net}$  je čistá šířka průřezu kolmo k vláknům.

$$A_{net,t} = 38 * 46 = 1748 \text{ mm}^2$$

Čistá smyková plocha rovnoběžná se směrem vláken:

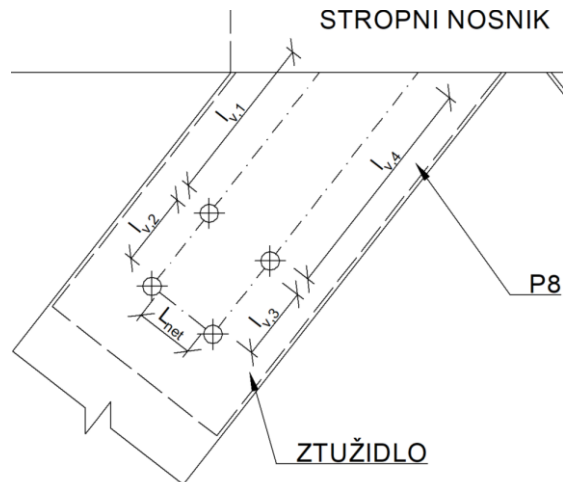
$$A_{net,v} = \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2t_{ef}), \quad (6.17)$$

kde  $L_{net,v}$  je čistá celková délka plochy smykového lomu a  $t_{ef}$  je účinná výška pro určitý způsob porušení.

Čistá délka smykové plochy  $L_{net,v}$ :

$$L_{net,v} = l_{v,1} + l_{v,2} + l_{v,3} + l_{v,4},$$

$$L_{net,v} = l_{v,1} + l_{v,2} + l_{v,3} + l_{v,4} = 79 + 48 + 48 + 118 = 293 \text{ mm}$$



Obrázek 6-5. Detail připojení tažené diagonály na ocelový plech s viditelnými délkami  $l_{v,i}$ .

Účinná výška  $t_{ef}$  je dána vztahem:

$$t_{ef} = t_1 \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,0,k} dt_1^2}} - 1 \right] \quad (6.18)$$

$$t_{ef} = 46 \left[ \sqrt{2 + \frac{4 * 95932}{25,26 * 12 * 46^2}} - 1 \right] = 20,97 \text{ mm}$$

Čistá smyková plocha je pak dle vztahu (6.17):

$$A_{net,v} = \frac{293}{2} * (38 + 2 * 20,97) = 11711,74 \text{ mm}^2$$

Charakteristická únosnost proti porušení blokovým a zátkovým smykem:

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 A_{net,t} * f_{t,0,k} \\ 0,7 A_{net,v} * f_{v,k} \end{array} \right\} \quad (6.19)$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 * 1748 * 14 = 36,71 \\ 0,7 * 11711,74 * 2,5 = 20,50 \end{array} \right\} = 36,71 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost proti vytržení blokovým a zátkovým smykem dle (5.1):

$$F_{bs,Rd} = k_{mod} \frac{F_{bs,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{36,71}{1,3} = 25,42 \text{ kN}$$

### Posouzení únosnosti proti vytržení blokovým a zátkovým smykem:

$$\frac{N_{t,Rd}}{F_{bs,Rd}} \leq 1 \quad (6.20)$$

$$\frac{12,797}{25,42} \leq 1$$

$$0,5 \leq 1$$

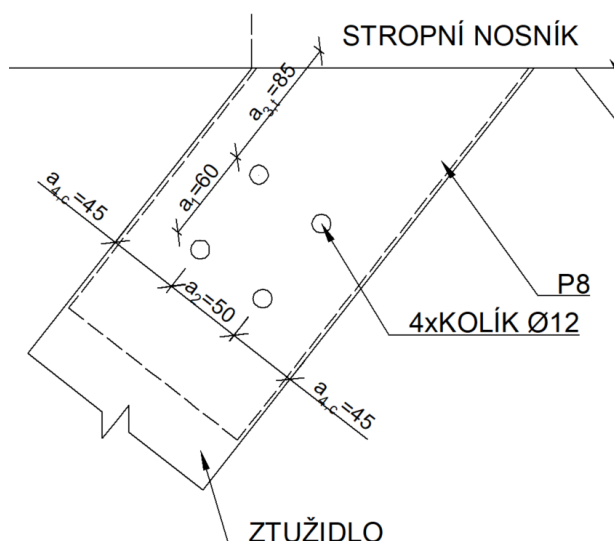
**Vyhovuje**

### Kontrola rozmístění kolíků:

Tabulka 6-1. Tabulka minimálních a skutečných roztečení mezi kolíky a vzdáleností kolíků od okrajů a konců s posudkem.

	Úhel $\alpha$ [°]	Minimální rozteč [mm]	Skutečná rozteč [mm]	Posudek
$a_1$	0	$(3 + 2 \cos\alpha )d = 60$	60	Vyhovuje
$a_2$	0	$3d = 36$	50	Vyhovuje
$a_{3,t}$	0	$\max\{7d; 80\text{ mm}\} = 84\text{ mm}$	85	Vyhovuje
$a_{4,c}$	0	$\max\{(2 + 2\sin\alpha)d; 3d\} = 36\text{ mm}$	45	Vyhovuje

Pozn.: úhel  $\alpha$  je sevrěn směrem průběhu vláken a směrem výslednice působící síly.



Obrázek 6-6. Detail připojení tažené diagonály a viditelné vzdálenosti roztečí kolíků a vzdálenosti kolíků od konců a okrajů.

## 6.2.2 Posouzení únosnosti spoje ve stropním nosníku

Spoj je proveden pomocí vnořených ocelových plechů a kolíků.

### Vstupní hodnoty a materiálové charakteristiky dřeva:

Stejně jako v kapitole 6.2.1

### Materiálové a rozměrové charakteristiky ocelového plechu:

Třída oceli: [-]:

S355

Tloušťka ocelové desky [mm]:

$t$

8

### Materiálové a rozměrové charakteristiky kolíků:

Pevnostní třída kolíků		4.8
Průměr kolíků[mm]:	$t$	10
Charakteristická únosnost kolíku v tahu [MPa]:	$f_{u,k}$	400

Vnitřní síly, na které je spoj posouzen ve stropním nosníku

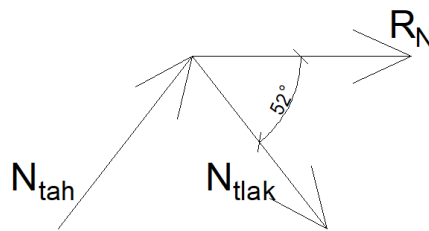
Maximální normálová tahová síla  $N_{t,d} = 28,464$  kN

Příslušná normálová tlaková síla  $N_{c,d} = -1,609$  kN

Příslušná posouvající síla  $V_{z,d} = 9,041$  kN

Výpočet výsledné síly ve spoji  $R$ :

Příslušná posouvající síla  $V_{z,d} = 9,041$  kN



Obrázek 6-7. Směr vektorů tahové a tlakové síly a směr výsledné síly  $R_N$  dané jejich součtem.

Výsledná síla  $R_N$ :

$$R_N = (|N_{c,0,d}| + N_{t,0,d}) * \cos 52 = 18,52 \text{ kN}$$

Výsledná síla  $R$ :

$$R = \sqrt{R_N^2 + V_{z,d}^2} = \sqrt{18,52^2 + 9,041^2} = 20,61 \text{ kN}$$

Úhel svírající směr vláken a směr výslednice síly:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{V_{z,d}}{R_N}\right) = 26,02^\circ$$

Plastický moment únosnosti  $M_{y,Rk}$  pro kolíky:

Spočten dle vztahu (6.21).

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,k}d^{2,6} = 0,3 * 400 * 10^{2,6} = 47772,86 \text{ Nmm}$$

Charakteristická hodnota pevnosti otláčení ve dřevě rovnoběžně s vlákny  $f_{h,0,k}$ :

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01d)\rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 10) * 350 = 25,83 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristická hodnota pevnosti otláčení ve dřevě pro úhel  $\alpha$  k vláknům  $f_{h,\alpha,k}$ :

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \quad (6.22)$$

kde  $k_{90}$  je součinitel daný vztahem pro dřevo jehličnatých dřevin:



$$k_{90} = 1,35 + 0,015d \quad (6.23)$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 * 10 = 1,5$$

Výsledná hodnota charakteristické pevnost je pak:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{26,404}{1,5 * \sin^2 26,02 + \sin^2 26,02} = 23,56 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

Po zanedbání účinku sepnutí spoje:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 10839 \\ 5894 \\ 7717 \end{array} \right\} = 5,89 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost jednoho kolíku pro dva stříhy:

Spočtena dle vztahu (5.1).

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{2F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2 * 5,89}{1,3} = 8,16 \text{ kN}$$

Efektivní počet kolíků v jedné řadě:

Je dán dle vztahu (6.14) pro zatížení rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \\ 2^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{100}{13 * 8}} = 1,85 \end{array} \right\} = 1,85$$

Pro zatížení kolmo k vláknům platí:

$$n_{ef} = n$$

Výsledný efektivní počet svorníků po interpolaci efektivního počtu kolíků pro zatížení rovnoběžně a kolmo k vláknům:

$$n_{ef} = 1,89$$

**Celková návrhová únosnost spoje (dvě řady po dvou kolících):**

$$F_{vc,Rd} = 2 * n_{ef} * F_{v,Rd} = 2 * 1,89 * 6,21 = 29,71 \text{ kN}$$

**Posouzení kolíků ve stříhu dle (6.7):**

$$\frac{R}{F_{vc,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{20,61}{29,71} \leq 1$$

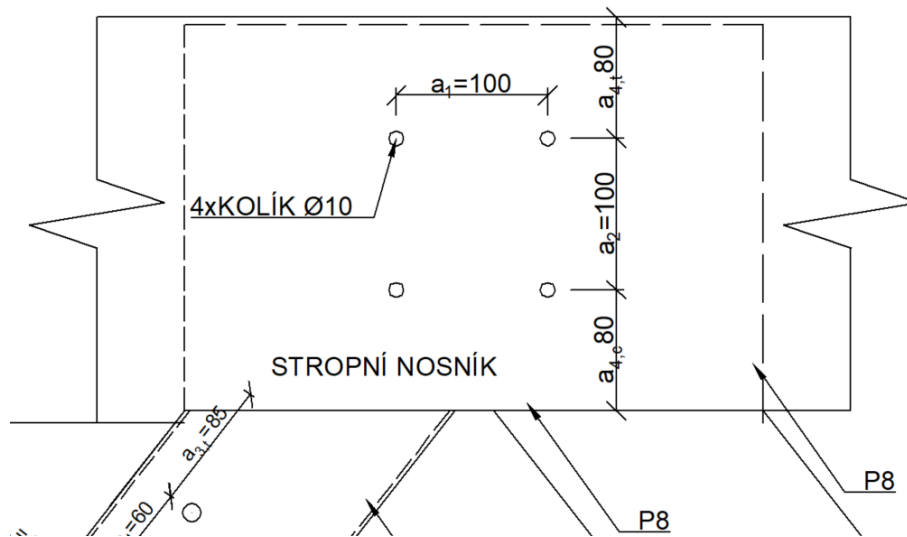
$$0,69 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Kontrola rozmístění kolíků:

Tabulka 6-2. Tabulka minimálních a skutečných roztečí mezi kolíky a vzdáleností kolíků od okrajů a konců s posudkem.

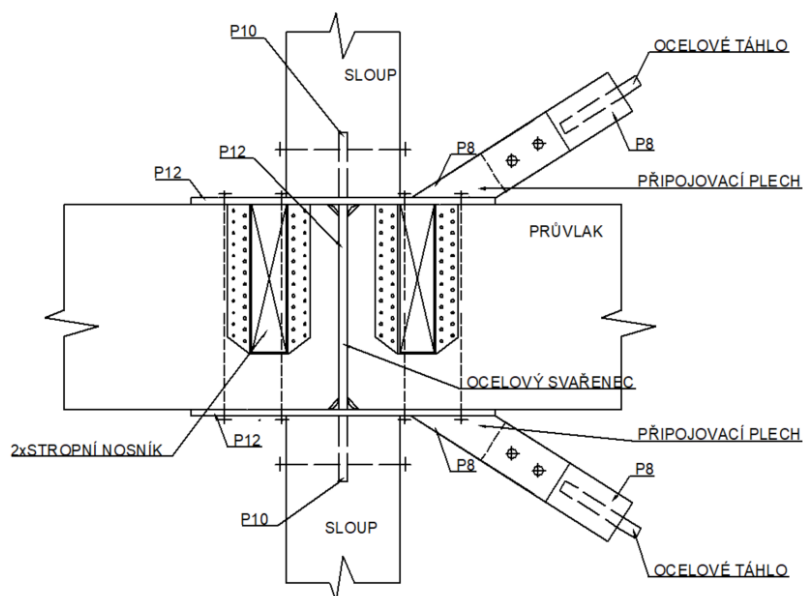
	Úhel $\alpha$ [°]	Minimální rozteč [mm]	Skutečná rozteč [mm]	Posudek
$a_1$	26,02	$(3 + 2 \cos\alpha )d = 39$	100	Vyhovuje
$a_2$	-	$3d = 24$	100	Vyhovuje
$a_{4,c}$	-	$3d = 24$	80	Vyhovuje
$a_{4,t}$	26,02	$\max\{(2 + 2\sin\alpha)d; 3d\} = 24 \text{ mm}$	80	Vyhovuje



Obrázek 6-8. Detail spoje stropního nosníku s vnitřními ztužidly a s viditelným rozmístěním kolíků.

### 6.3 Návrh a posouzení spoje sloup-průvlak

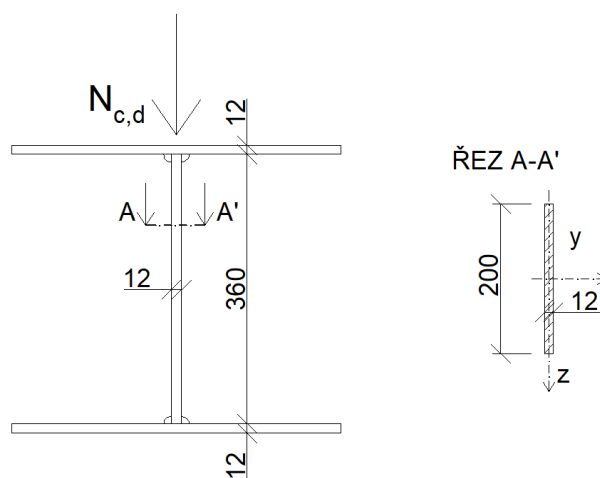
Níže na obrázku 6-9. lze vidět napojení stropních průvlaků na sloup pomocí ocelového svařence a vrutů, dále napojení svařence na sloup pomocí svorníků, a připojení tažené ocelové diagonály na přípojovací plech pomocí dvou šroubů.



Obrázek 6-9. Napojení průvlaku na sloup pomocí ocelového svařence.

### 6.3.1 Posouzení stojiny ocelového svařence

Ocelový svařenec je zatížen tlakovou osovou silou od sloupů, proto je nutné posoudit stojinu sloupu na namáhání tlakem. Na obrázku je vidět schéma zatížení ocelového svařence a řez stojinou s rozměry svařence.



Obrázek 6-10. Schéma zatížení stojiny ocelového svařence a její řez.

#### Materiálové a rozměrové charakteristiky ocelového plechu:

Třída oceli: [-]:		S355
Tloušťka ocelové desky [mm]:	$t = b$	12
Výška plechu stojiny svařence [mm]:	$h_p$	200
Délka stojiny [mm]:	$c$	360
Plocha průřezu [mm <sup>2</sup> ]:	$A$	2400

Moment setrvačnosti [mm <sup>4</sup> ]:	$I_z$	28800
Poloměr setrvačnosti [mm]:	$i_z$	3,46
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]:	$\gamma_{M1}$	1,0

Vnitřní síla působící na stojinu svařence:

Maximální normálová tlaková síla  $N_{c,d} = 495,478$  kN

### Namáhání vzpěrným tlakem

**Pro nosníky namáhané tlakem platí stabilitní podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1, \quad (6.24)$$

kde  $N_{b,Rd}$  je návrhová vzpěrná únosnost tláčeného prutu.

Návrhová vzpěrná únosnost  $N_{b,Rd}$ :

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{y,k}}{\gamma_{M1}}, \quad (6.25)$$

kde  $\chi$  je součinitel vzpěrnosti.

Součinitel vzpěrnosti  $\chi$ :

Štíhlost prutu  $\lambda_z$ :

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z},$$

kde  $L_{cr}$  je pro oboustranně vetknuté pruty:

$$L_{cr} = 0,5 * 365 = 182,5 \text{ mm.}$$

$$\lambda_z = \frac{182,5}{3,46} = 52,68$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}_z$ :

$$\lambda_1 = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,40$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{51,96}{76,40} = 0,68$$

Součinitel  $\Phi$ :

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{-2} \right], \quad (6.26)$$

Kde  $\alpha$  je součinitel imperfekce a pro plné průřezy a je dle křivky vzpěrnosti c,  $\alpha = 0,49$ .

$$\Phi = 0,5 [1 + 0,49(0,68 - 0,2) + 0,68^2] = 0,85$$

Součinitel vzpěrnosti  $\chi$  je pak:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_z^{-2}}} \quad (6.27)$$

$$\chi = \frac{1}{0,85 + \sqrt{0,85^2 - 0,68^2}} = 0,73$$

Návrhová vzpěrná únosnost je pak dle (6.25):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,73 * 2400 * 355}{1} = 622,92 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti je pak dle (6.25):

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

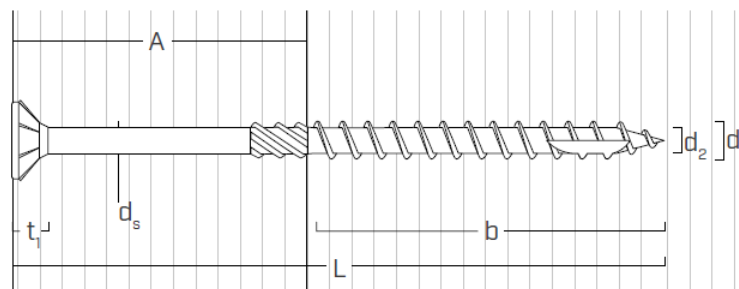
$$\frac{495,478}{622,99} \leq 1,0$$

$$0,80 \leq 1,0$$

Vyhovuje

### 6.3.2 Posouzení únosnosti spoje vodorovného plechu a průvlaku

Připoj bude proveden pomocí kotvicích vrutů HBS z katalogu vrutů a spojovacích prostředků do dřeva od firmy [48] a ocelového plechu.



Obrázek 6-11. Ukázka použitého vrutu od firmy [48].

#### Vstupní hodnoty a materiálové charakteristiky dřeva:

Třída dřeva [-]:		GL32
Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		střednědobé
Charakteristická hustota dřeva [kg.m <sup>-3</sup> ):	$\rho_k$	440
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,9
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]:	$\gamma_M$	1,25
Tloušťka vniku hrotu [mm]:	$t_1$	150

#### Materiálové a rozměrové charakteristiky ocelového plechu:

Třída oceli [-]:		S355
Tloušťka ocelové desky [mm]:	$t$	12
<u>Materiálové a rozměrové charakteristiky vrutů:</u>		
Charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti [Nmm]:	$M_{y,Rk}$	47966
Průměr vrutu [mm]:	$d$	12
Efektivní průměr vrutu [mm]:	$d_{ef}$	8
Délka vrutu [mm]:	$l_{vr}$	160

Návrhové hodnoty vnitřních sil, na které je spoj posouzen:

Maximální normálová tlaková síla  $N_{t,d} = 26,885$  kN

**Posouzení návrhové únosnosti vrutů:**

Průměr dřívku vrutů je větší než 6 mm, proto je výpočet návrhové únosnosti vrutů proveden dle výpočtu návrhové únosnosti a posouzení svorníků.

Stanovení tloušťky desky

Pro tlusté desky platí:

$$t = 12 \text{ mm} \geq d = 12 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Plastický moment únosnosti  $M_{y,Rk}$  pro kotvící vruty dle výrobce [48]:

$$M_{y,Rk} = 47966 \text{ Nmm}$$

Charakteristická hodnota pevnosti otláčení ve dřevě rovnoběžně s vlákny  $f_{h,0,k}$ :

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01d_{ef})\rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 8) * 440 = 33,19 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristická únosnost pro jeden střih jednoho spojovacího prostředku pro tenké ocelové desky:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} d_{ef} t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{\frac{M_{y,Rk} f_{h,k} d_{ef}}{f_{h,k} t_1 d_{ef}}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

Po zanedbání účinku sepnutí spoje:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 16736 \\ 8209 \\ 39301 \end{array} \right\} = 8,21 \text{ kN}$$

Výpočet odpovídá charakteristické únosnosti dle výrobce:

$$F_{v,Rk} = 8,21 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost jednoho vrutu pro jeden střih:

Spočtena dle vztahu (5.1).

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{8,21}{1,25} = 5,91 \text{ kN}$$

Efektivní počet vrutů v jedné řadě:

Je dán dle vztahu (6.14):

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \\ 4^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{100}{13 * 12}} = 1,85 \end{array} \right\} = 1,85$$

**Celková návrhová únosnost spoje (4 řady po 4 vrutech):**

$$F_{v,Rd} = 4 * n_{ef} * F_{v,Rd} = 4 * 1,85 * 5,91 = 43,73 \text{ kN}$$

**Posouzení vrutů ve stříhu:**

$$\frac{N_{t,d}}{F_{vc,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{26,885}{43,73} \leq 1$$

$$0,61 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Kontrola rozmístění vrutů:

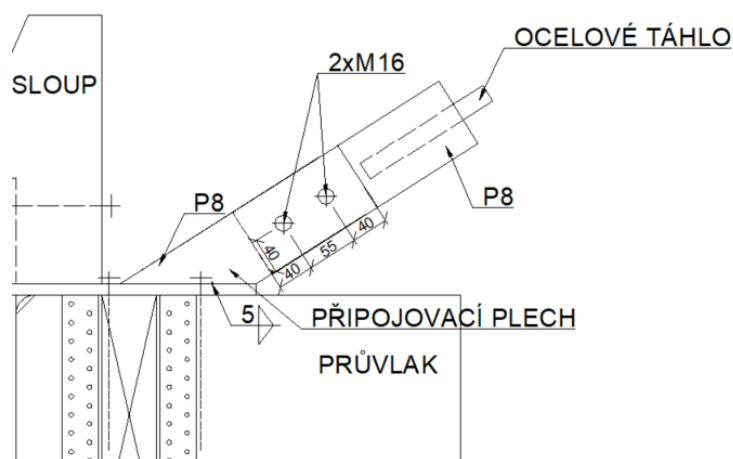
Tabulka 6-3. Tabulka minimálních a skutečných roztečí mezi vruty a vzdáleností kolíků od okrajů a konců s posudkem.

	Úhel $\alpha$ [°]	Minimální rozteč [mm]	Skutečná rozteč [mm]	Posudek
$a_1$	0	$(4 +  \cos\alpha )d = 60$	100	Vyhovuje
$a_2$	0	$4d = 48$	70	Vyhovuje
$a_{3,t}$	0	$\max(7d; 80 \text{ mm}) = 84$	100	Vyhovuje
$a_{4,c}$	180	$3d = 36 \text{ mm}$	65	Vyhovuje

### 6.3.3 Posouzení únosnosti spoje tažené diagonály a připojovacího plechu

Přípoj je proveden pomocí dvou šroubů a připojovacího plechu, který je součástí ocelového svařence.

Detail lze vidět na obrázku 6-12. níže.



Obrázek 6-12. Detail připojení tažené diagonály k přípojovacímu plechu na ocelovém svařenci.

Materiálové a rozměrové charakteristiky ocelového plechu na diagonále a na ocelovém svařenci:

Třída oceli: [-]:		S355
Tloušťka ocelové desky [mm]:	$t$	8
Výška průřezu [mm]:	$h$	80
Velikost otvoru pro šroub [mm]:	$d_0$	18
Mez kluzu oceli [MPa]:	$f_y$	355
Mez pevnosti oceli [MPa]:	$f_u$	490
Plocha oslabeného průřezu [mm <sup>2</sup> ):	$A_{net}$	496

Materiálové a rozměrové charakteristiky šroubů:

Jakostní třída šroubu [-]:		8.8
Průměr šroubu [mm]:	$d$	16
Plocha jádra šroubu [mm <sup>2</sup> ):	$A_s$	157
Mez kluzu oceli šroubu [MPa]:	$f_{y,b}$	640
Mez pevnosti oceli šroubu [MPa]:	$f_{u,b}$	800

**Návrhová únosnost šroubového spoje**

Vnitřní síla v diagonále:

Maximální normálová tahová síla  $N_{t,d} = 87,775$  kN

**Podmínka spolehlivosti pro šroubový spoj:**

$$\frac{N_{t,d}}{F_{Rd}} \leq 1 \quad (6.28)$$

Návrhová únosnost šroubu na stříh:



Je dána vztahem:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{u,b} A_s}{\gamma_{M2}}, \quad (6.29)$$

kde  $\alpha_v = 0,6$  je pro šrouby třídy 8.8.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * 800 * 157}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost plechu v otláčení:

Vzájemné vzdálenosti šroubů a vzdálenosti od okrajů (viz obrázek 6-12.):

$$e_1 = e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 55 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost je dána vztahem:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.30)$$

Součinitel  $k_1$ :

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} \quad (6.31)$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 * \frac{40}{18} - 1,7 = 4,522 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,5$$

Součinitel  $\alpha_b$ :

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3d_0} \\ \frac{p_1}{3d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1 \end{array} \right\} \quad (6.32)$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{40}{3 * 18} = 0,74 \\ \frac{55}{3 * 18} = 0,77 \\ \frac{800}{490} = 1,633 \\ 1 \end{array} \right\} = 0,74$$

Návrhová únosnost plechu v otláčení je pak:

$$F_{b,Rd1} = \frac{k_1 \alpha_b d t f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 16 * 8 * 490}{1,25} = 92,92 \text{ kN}$$

Omezující podmínka návrhové únosnosti  $F_{b,Rd}$  pro přeplátované spoje s jednou řadou šroubů:

$$F_{b,Rd2} = \frac{1,5 f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (6.33)$$

$$F_{b,Rd2} = \frac{1,5 * 490 * 16 * 8}{1,25} = 75,26 \text{ kN}$$

**Výsledná návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:**

$$F_{b,Rd} = \min(F_{b,Rd1}; F_{b,Rd2}) \quad (6.34)$$

$$F_{b,Rd} = \min(92,92; 75,26) = 75,26 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost šroubového spoje:

$$F_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) \quad (6.35)$$

$$F_{Rd} = \min(60,29; 75,26) = 60,29 \text{ kN}$$

**Výsledný počet šroubu na plechu:**

$$n = \frac{N_{t,d}}{F_{Rd}} \quad (6.36)$$

$$n = \frac{87,775}{47,04} = 1,46 \doteq 2 \text{ ks}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (6.28):**

$$\frac{N_{ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

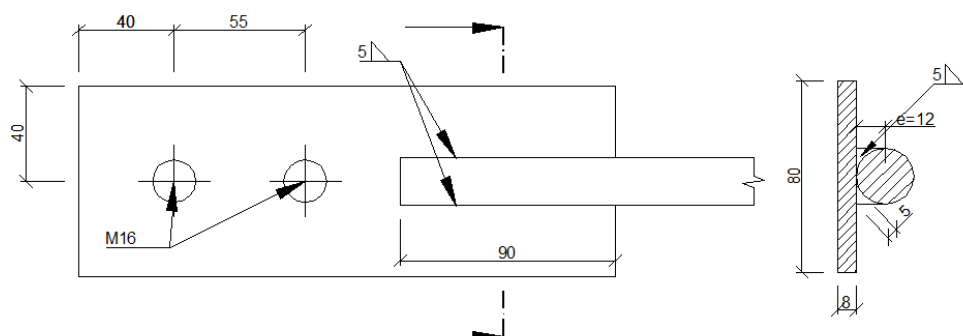
$$\frac{87,775}{2 * 60,29} \leq 1$$

$$0,73 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Návrhová únosnost sváru přípojovacího plechu a kulatiny ocelové diagonály**

Přípoj je proveden koutovým svárem, detaily a rozměry sváru lze vidět na obrázku 6-13.



Obrázek 6-13. Svarové připojení kruhové tažené diagonály k ocelovému plechu.

Vnitřní síla v diagonále:

Maximální normálová tahová síla  $N_{t,d} = 87,775 \text{ kN}$

Rozměrové a materiálové charakteristiky ocelového plechu na diagonále:

Jsou uvedeny v kapitole 6.3.3.

### Rozměrové a materiálové charakteristiky kruhové diagonály:

Jsou uvedeny v kapitole 5.11.

### Výpočtové hodnoty a sváru ocelového plechu:

Účinná tloušťka sváru [mm]:	$a_w$	5
Účinná délka sváru [mm]:	$L_w$	60

Délka sváru je na obrázku 6-13. 90 mm, do výpočtu je však vložena délka 60 mm, protože svár začíná být aktivní až po 15 mm od kraje.

### Podmínka spolehlivosti pro namáhání ve sváru:

$$\sqrt{\tau_{II}^2 + \sigma_w^2} \leq f_{vw,d}, \quad (6.37)$$

kde  $\tau_{II}$  je smykové napětí rovnoběžné s osou sváru,  $\sigma_w$  je normálové napětí v ohybu způsobené excentricitou síly na svár,  $f_{vw,d}$  je návrhová pevnost sváru ve smyku.

### Smykové napětí rovnoběžné s osou sváru $\tau_{II}$ :

$$\tau_{II} = \frac{N_{t,d}}{2 L_w a_w}, \quad (6.38)$$

kde  $L_w$  je délka sváru a  $a_w$  je účinná tloušťka koutového sváru.

$$\tau_{II} = \frac{87775}{2 * 60 * 5} = 146,63 \text{ MPa}$$

### Normálové napětí v ohybu $\sigma_w$ od působení síly na excentricitě $e$ :

$$\sigma_w = \frac{N_{t,d} e}{2 \frac{1}{6} a_w L_w^2}, \quad (6.39)$$

$$\sigma_w = \frac{87775 * 12}{2 * \frac{1}{6} * 5 * 60^2} = 175,55 \text{ MPa}$$

### Návrhová pevnost svaru ve smyku $f_{vw,d}$ :

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}, \quad (6.40)$$

kde  $\beta_w$  je korekční součinitel koutových svarů a jeho hodnota pro třídy S355 činí 0,9.

$$f_{vw,d} = \frac{490}{\sqrt{3} * 0,9 * 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

### **Podmínka spolehlivosti je pak:**

$$\frac{\sqrt{\tau_{II}^2 + \sigma_w^2}}{f_{vw,d}} \leq 1$$
$$\frac{\sqrt{146,29^2 + 175,55^2}}{251,47} \leq 1$$

$$0,91 \leq 1$$

Vyhovuje

Návrhová únosnost plechu na diagonále v tahu

**Podmínka spolehlivosti pro přetržení oslabeného místa průřezu:**

$$\frac{N_t}{N_{u,Rd}} \leq 1 \quad (6.41)$$

Návrhová únosnost oslabeného místo průřezu v tahu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.42)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * 496 * 490}{1,25} = 174,99 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (6.41):**

$$\frac{N_{ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$$

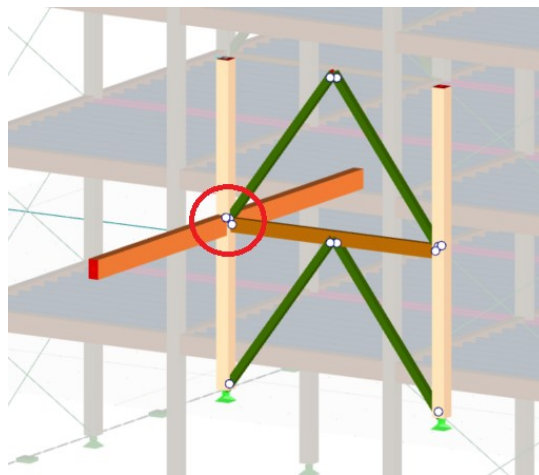
$$\frac{87,775}{174,99} \leq 1$$

$$0,50 \leq 1$$

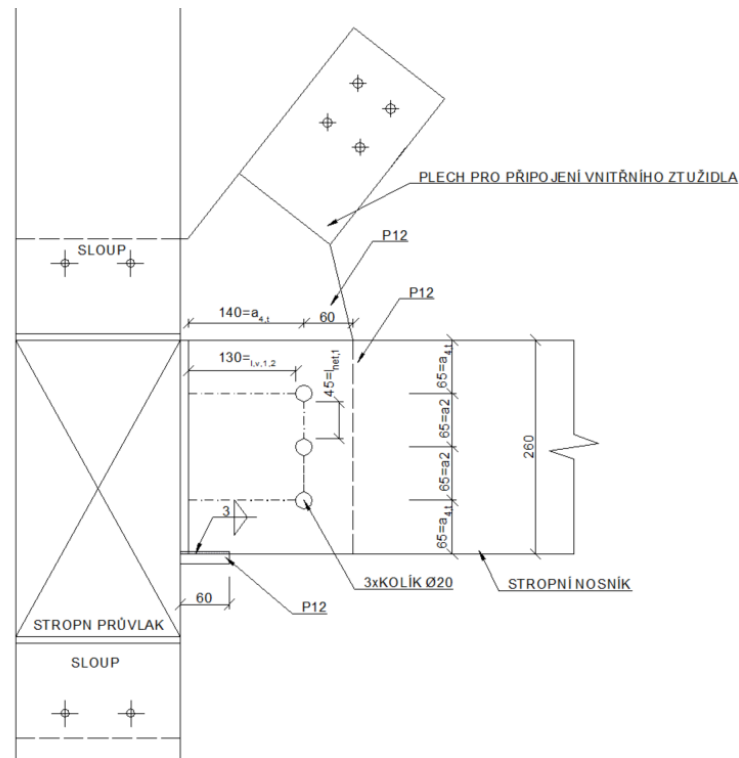
Vyhovuje

### 6.3.4 Posouzení únosnosti spoje stropního nosníku a ocelového svařence

Tímto způsobem je připojen pouze stropní nosník, na který jsou připojeny vnitřní „A“ ztužidla. Připoj je proveden pomocí vnořených ocelových plechů, které jsou součástí ocelového svařence a kolíků. Myšlené připojení lze vidět na obrázku 6-14. Na obrázku 6-15. lze vidět detail připojení.



Obrázek 6-14. Lokalizace přípoje v prostorovém modelu v softwaru [23].



Obrázek 6-15. Detail připojení stropního nosníku na plech ocelového svařence.

Vstupní hodnoty a materiálové charakteristiky dřeva:

Třída dřeva [-]:		C24
Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		střednědobé
Charakteristická hustota dřeva [kg.m <sup>-3</sup> ]:	$\rho_k$	350
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,9
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]:	$\gamma_M$	1,3
Tloušťka krajního dřevěného prvku [-]:	$t_1$	44
Účinná dotyková plocha kolmo k vláknům [mm <sup>2</sup> ]:	$A_{ef}$	4400

Materiálové a rozměrové charakteristiky ocelového plechu:

Třída oceli [-]:		S355
Tloušťka ocelové desky [mm]:	$t$	12

Materiálové a rozměrové charakteristiky kolíků:

Pevnostní třída kolíků:		4.8
Průměr kolíků[mm]:	$d$	20
Charakteristická pevnost kolíku v tahu [MPa]:	$f_{u,k}$	400

Výpočtové hodnoty pro svár:

Účinná tloušťka sváru [mm]:	$a_w$	3
Účinná délka sváru [mm]:	$L_w$	54

Návrhová pevnost dřeva v tlaku kolmo k vláknům:

Spočtena dle vztahu (5.1).

$$f_{c,90,d} = 1,73 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly, na které je spoj posouzen:

Maximální normálová tahová síla  $N_{t,d} = 43,85 \text{ kN}$

Maximální posouvající síla  $V_{z,d} = 4,454 \text{ kN} = R_{z,d}$

Posouzení návrhové únosnosti dřeva v tlaku kolmo na vlákna:

**Podmínka spolehlivosti pro posouzení únosnost dřeva kolmo k vláknům je:**

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \leq 1 \quad (6.43)$$

kde  $k_{c,90} = 1,5$  pro rostlé dřevo pro lokální podpěry.

**Návrhové napětí tlaku kolmo k vláknům na účinné dotykové ploše:**

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_{z,d}}{A_{ef}} \quad (6.44)$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_{z,d}}{A_{ef}} = \frac{4545}{4400} = 1,03 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti je pak (6.43):

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,03}{1,5 * 1,73} \leq 1$$

$$0,45 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Návrhová únosnost sváru vnořeného plechu a podpůrného plechu:

**Podmínka spolehlivosti pro posouzení únosnosti koutového sváru zatíženého v rovině sváru:**

$$\frac{V_{z,d}}{F_{w,Rd}} \leq 1 \quad (6.45)$$

Návrhová únosnost koutového sváru:

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u a_w L_w}{\gamma_M \beta_w} * \frac{1}{\sqrt{4 \left( \frac{\sin \theta \cos 45}{a_w L_w} \right)^2 + 3 \left( \frac{\cos \theta}{a_w L_w} \right)^2}} \quad (6.46)$$

kde  $\theta$  je úhel, který svírá svíslá síla s osou sváru  $\theta = 90^\circ$ .

$$F_{w,Rd} = 2 * \left( \frac{490 * 3 * 54}{1,25 * 0,9} * \frac{1}{\sqrt{4 \left( \frac{\cos 45}{3 * 54} \right)^2 + 3 \left( \frac{0}{3 * 54} \right)^2}} \right) = 99,79 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti je pak dle (6.45):**

$$\frac{V_{z,d}}{F_{w,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{4,545}{99,79} \leq 1$$

$$0,04 \leq 1$$

**Vyhovuje**

**Návrhová únosnost kolíkové spoje:**

Plastický moment únosnosti  $M_{y,Rk}$  pro jeden spojovací prostředek:

Spočten dle vztahu (6.11):

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} = 0,3 * 400 * 20^{2,6} = 289641 \text{ Nmm}$$

Charakteristická hodnota pevnosti otláčení ve dřevě rovnoběžně s vlákny  $f_{h,0,k}$ :

Spočtena dle vztahu (6.12):

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01d) \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 20) * 350 = 22,96 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

Spočtena dle vztahu (6.13):

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

Po zanedbání účinku sepnutí spoje:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20205 \\ 16517 \\ 25525 \end{array} \right\} = 16,52 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost jednoho kolíku pro dva stříhy:

Spočtena dle vztahu (5.1).

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{2F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2 * 16,52}{1,3} = 22,87 \text{ kN}$$

Efektivní počet kolíků v jedné řadě:

$$n_{ef} = n = 1$$

**Celková návrhová únosnost spoje (3 řady po jednom kolíku):**

Spočtena dle vztahu (6.15):

$$F_{vc,Rd} = 3 * n_{ef} * F_{v,Rd}$$

$$F_{vc,Rd} = 3 * 1 * 22,87 = 68,62 \text{ kN}$$

**Posouzení kolíků ve střihu dle (6.7):**

$$\frac{N_{t,d}}{F_{vc,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{43,85}{68,62} \leq 1$$

$$0,64 \leq 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení únosnosti proti porušení zátkovým a blokovým smykem:**

Čistá průřezová plocha kolmo k vláknům:

$$A_{net,t} = 2 * l_{net,1} * t_1,$$

kde  $L_{net}$  je čistá šířka průřezu kolmo k vláknům.

$$A_{net,t} = 90 * 44 = 3960 \text{ mm}^2$$

Čistá smyková plocha rovnoběžná se směrem vláken:

Čistá délka smykové plochy  $L_{net,v}$ :

$$L_{net,v} = l_{v,1} + l_{v,2} = 130 + 130 = 260 \text{ mm}$$

Účinná výška  $t_{ef}$  je dána vztahem:

$$t_{ef} = t_1 \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} dt_1^2}} - 1 \right]$$

$$t_{ef} = 44 \left[ \sqrt{2 + \frac{4 * 289641}{22,96 * 20 * 44^2}} - 1 \right] = 79,97 \text{ mm}$$

Čistá smyková plocha je pak dle vztahu (6.17):

$$A_{net,v} = \frac{L_{net,v}}{2} * (L_{net,t} + 2t_{ef}) = \frac{260}{2} * (90 + 2 * 79,97) = 32492,2 \text{ mm}^2$$

Charakteristická únosnost proti porušení:



$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ 1,5A_{net,t} * f_{t,0,k} \right. \\ \left. 0,7A_{net,v} * f_{v,k} \right\}$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ 1,5 * 3960 * 14 = 83,16 \right. \\ \left. 0,7 * 32492,2 * 2,5 = 56,86 \right\} = 83,16 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost proti vytržení blokovým a zátkovým smykem dle (5.1):

$$F_{bs,Rd} = k_{mod} \frac{F_{bs,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{83,16}{1,3} = 57,57 \text{ kN}$$

**Posouzení únosnosti proti vytržení blokovým a zátkovým smykem:**

$$\frac{N_{t,Rd}}{F_{bs,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{43,85}{57,57} \leq 1$$

$$0,76 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Kontrola rozmístění kolíků:

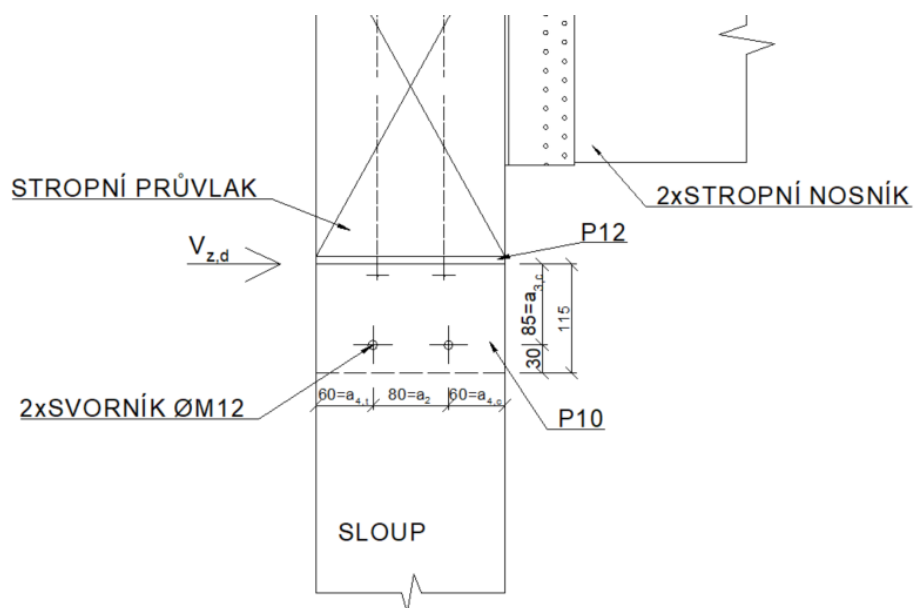
Tabulka 6-4. Tabulka minimálních a skutečných roztečí mezi kolíky a vzdáleností kolíků od okrajů a konců s posudkem.

Vzdálenost/rozteč	Úhel $\alpha$ [°]	Minimální rozteč [mm]	Skutečná rozteč [mm]	Posudek
$a_2$	0	$3d = 60$	65	Vyhovuje
$a_{3,t}$	0	$\max(7d;80)=140$	140	Vyhovuje
$a_{4,c}$	343,76	$3d = 60$	65	Vyhovuje

Rozteče mezi kolíky a jejich vzdálenosti od okrajů a konců lze vidět na obrázku 6-15.

### 6.3.5 Posouzení únosnosti spoje sloupu a ocelového svařence

Spoj je proveden pomocí vnořeného ocelového plechu a pomocí svorníků. Detail spoje lze vidět na obrázku 6-16.



Obrázek 6-16. Detail spojení sloupu a ocelového svařence pomocí vnořených ocelových plechů a svorníků.

Vstupní hodnoty a materiálové charakteristiky dřeva:

Třída dřeva [-]:		GL28
Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		krátkodobé
Charakteristická hustota dřeva [kg.m <sup>-3</sup> ):	$\rho_k$	410
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,9
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]:	$\gamma_M$	1,25
Tloušťka krajního dřevěného prvku [-]:	$t_1$	95

Materiálové a rozměrové charakteristiky ocelového plechu:

Třída oceli [-]:		S355
Tloušťka ocelové desky [mm]:	$t$	10

Materiálové a rozměrové charakteristiky svorníků:

Pevnostní třída kolíků		4.8
Průměr kolíků [mm]:	$d$	12
Charakteristická pevnost svorníku v tahu [MPa]:	$f_{u,k}$	400

Vnitřní síly, na které je spoj posouzen:

Posouvající síla  $V_{y,d} = 3,814$  kN

Plastický moment únosnosti  $M_{y,Rk}$  pro svorníky:

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,k}d^{2,6} = 0,3 * 400 * 12^{2,6} = 76745 \text{ Nmm}$$

Charakteristická hodnota pevnosti otláčení ve dřevě rovnoběžně s vlákny  $f_{h,0,k}$ :

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 d) \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 12) * 410 = 29,59 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristická hodnota pevnosti otláčení ve dřevě pro úhel  $\alpha$  k vláknům  $f_{h,\alpha,k}$ :

Součinitel  $k_{90}$ :

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 * 12 = 1,53$$

Výsledná hodnota charakteristické pevnosti v otláčení je pak:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{29,59}{1,53 * \sin^2(90) + \cos^2(90)} = 19,34 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

Po zanedbání účinku sepnutí spoje:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 22044 \\ 10254 \\ 9706 \end{array} \right\} = 9,71 \text{ kN}$$

Výsledná návrhová únosnost jednoho svorníku pro dva stříhy dle (5.1):

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{2F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 * \frac{2 * 9,71}{1,25} = 13,98 \text{ kN}$$

Efektivní počet svorníků v jedné řadě:

Pro zatížení kolmo k vláknům platí:

$$n_{ef} = n = 2$$

**Celková návrhová únosnost spoje (1 řada po dvou svornících):**

$$F_{vc,Rd} = n_{ef} * F_{v,Rd} = 2 * 13,98 = 27,96 \text{ kN}$$

**Posouzení jednoho svorníku ve stříhu dle (6.7):**

$$\frac{R}{F_{vc,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{3,814}{27,96} \leq 1$$

$$0,13 \leq 1$$

**Vyhovuje**

### Kontrola rozmístění svorníků:

Rozteče a vzdálenost lze vidět na obrázku 6-16.

$$\alpha = 90^\circ$$

Tabulka 6-5. Tabulka minimálních a skutečných roztečí mezi svorníky a vzdáleností svorníků od okrajů a konců s posudkem.

Vzdálenost/rozteč	Úhel $\alpha$ [°]	Minimální rozteč [mm]	Skutečná rozteč [mm]	Posudek
$a_2$	90	$4d=48$	80	Vyhovuje
$a_{3,c}$	90	$\max[(1 + 6 \sin \alpha)d; 4d] = 84$	85	Vyhovuje
$a_{4,c}$	90	$3d = 36$	60	Vyhovuje
$a_{4,t}$	90	$\max\{(2 + 2 \sin \alpha)d; 3d\} = 48$	60	Vyhovuje

## 7 Kotvení

Sloupy prvního nadzemního podlaží budou kotveny do betonové stropní desky prvního podzemního podlaží. Kotvení sloupů bude obdobné jako u spoje sloupu a ocelového svařence, tedy s vnořeným ocelovým plechem a svorníky. Velká normálová tlaková síla se přenesе kontaktem sloupu a patního plechu, svorníky budou pouze zajišťovat posouvající sílu vzniklou působením větru. Ve sloupech nevzniká tahová síla, proto jsou kotevní šrouby navrženy pouze konstrukčně.

### 7.1 Návrh a posudek patního plechu a podlití

#### Výpočtové hodnoty a charakteristiky patního plechu:

Třída oceli [-]:		S355
Tloušťka patního plechu [mm]:	$t_p$	20
Šířka [mm]:	$a$	400
Délka [mm]:	$b$	400

#### Výpočtové hodnoty a charakteristiky betonu stropní desky:

Třída betonu:		C30/37
Charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa]:	$f_{ck}$	30

#### Započitatelné rozměry patky:

Sloupy jsou ukotveny na betonové stropní desce podzemního parkoviště, započitatelné rozměry patky jsou tak stejné jako rozměry patního plechu.

Šířka [mm]:	$a_1$	400
Délka [mm]:	$b_1$	400

#### Posouzení:

Vnitřní síly, na které je patní plech posouzen:

Maximální normálová tlaková síla  $N_{c,d} = -495,478 \text{ kN}$

Výška podlití  $h_p$ :

Výška podlití [mm]:

$h_p$  35

Podmínka pro určení výšky podlití:

$$0,1 * \min(a, b) \leq h_p \leq 0,2 * \min(a, b) \quad (7.1)$$

$$30 \text{ mm} \leq 35 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Návrhové hodnoty pevnosti betonu v tlaku (třída betonu C30/37):

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \quad (7.2)$$

kde součinitel spolehlivosti pro beton je  $\gamma_c = 1,5$ .

$$f_{cd} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Součinitel koncentrace  $k_j$ :

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{a b}} \quad (7.3)$$

$$k_j = \sqrt{\frac{400 * 400}{400 * 400}} = 1$$

Návrhová pevnost betonu ve spáře  $f_{jd}$ :

$$f_{jd} = \beta_j k_j f_{cd}, \quad (7.4)$$

kde  $\beta_j$  je součinitel vlivu podlití a má hodnotu  $\beta_j = 2/3$

$$f_{jd} = \frac{2}{3} * 1 * 20 = 13,33 \text{ MPa}$$

Účinná konzola patního plechu  $c$ :

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_y}{3 f_{jd} \gamma_{M0}}} \quad (7.5)$$

$$c = 20 * \sqrt{\frac{355}{3 * 13,33 * 1}} = 59,58 \text{ mm} \doteq 60 \text{ mm}$$

Efektivní plocha patky  $A_{eff}$ :

$$A_{eff} = (a + 2c) * (b + 2c) \quad (7.6)$$

$$A_{eff} = (200 + 2 * 60) * (200 + 2 * 60) = 52900 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost betonu pod patním plechem:

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{j,d} \quad (7.7)$$

$$N_{Rd} = 102400 * 13,33 = 1365,33 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti pro únosnost betonu pod patním plechem:**

$$\frac{N_{c,d}}{N_{R,d}} \leq 1 \quad (7.8)$$

$$\frac{495,478}{1365,33} \leq 1$$

$$0,36 \leq 1$$

**Vyhovuje**

## 7.2 Přenos vodorovných sil

Přenos vodorovných sil je zajištěn třením mezi ocelovým plechem a betonem, není třeba smykové zarážky.

Vnitřní síly potřebné pro návrh přenosu vnitřních sil:

Maximální reakce od tažených diagonál  $R_{x,d} = 72,416 \text{ kN}$

Příslušná maximální normálová tlaková síla  $N_{c,d} = -263,659 \text{ kN}$

**Podmínka spolehlivosti pro přenos vodorovných sil:**

$$\frac{R_{x,d}}{\mu * |N_{c,d}|} \leq 1, \quad (7.9)$$

kde  $\mu$  je součinitel tření mezi betonem a ocelí a jeho hodnota činí  $\mu = 0,2$ .

$$\frac{72,416}{0,2 * 215,19} \leq 1$$

$$1,68 \leq 1$$

**Nevyhovuje**

Je nutné navrhnout smykovou zarážku:

Návrh profil IPE 100.

**Stanovení horizontální síly  $V_{sd}$ :**

$$V_{sd} = R_{x,d} - \mu * |N_{c,d}| \quad (7.10)$$

$$V_{sd} = 72,416 - 0,2 * 263,659 = 19,68 \text{ kN}$$

**Minimální výška smykové zarážky  $h_{min}$ :**

$$h_{min} = \frac{V_{sd}}{l_z * f_{cd}}, \quad (7.11)$$

kde  $l_z$  je délka zarážky (šířka pásnice IPE profilu).

$$h_{min} = \frac{19680}{46 * 20} = 21,39 \text{ mm}$$

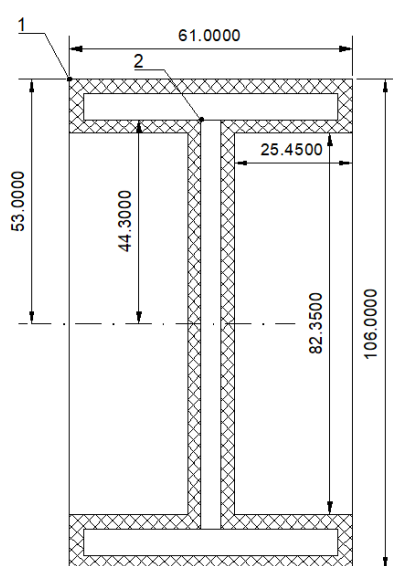
## Návrh profilu IPE 100 výšky 100 mm.

### Posouzení sváru smykové zarážky:

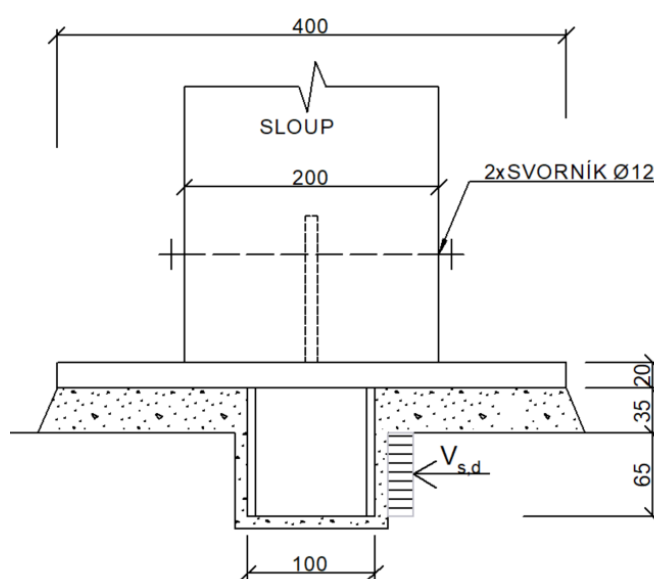
Pro posouzení sváru smykové zarážky je nutné stanovit moment setrvačnosti svarového obrazce  $I_w$ . Délky potřebné pro jeho stanovení jsou vidět na obrázku 7-1

### Výpočtové hodnoty sváru smykové zarážky:

Účinná tloušťka sváru [mm]:	$a_w$	3
Moment setrvačnosti svarového obrazce [mm <sup>4</sup> ]:	$I_w$	4118088



Obrázek 7-1. Délky potřebné pro stanovení momentu setrvačnosti svarového obrazce a také body 1 a 2 důležité pro posouzení sváru IPE profilu a patního plechu.



Obrázek 7-2. Schéma působení horizontální síly  $V_{sd}$  na smykovou zarážku.

### Posouzení v bodě 2 svarového obrazce:

Smykové napětí ve sváru na stojně  $\tau_{II}$ :

$$\tau_{II} = \frac{V_{sd}}{2 a (h - 2 t_f)} \quad (7.12)$$

$$\tau_{II} = \frac{19680}{2 * 3 (100 - 2 * 5,7)} = 37,02 \text{ MPa}$$

Ohybový moment  $M_{sd}$  vzniklý od působení horizontální síly:

$$M_{sd} = V_{sd} \left( \frac{h_{IPE,c}}{2} + h_p \right) \quad (7.13)$$

$$M_{sd} = V_{sd} \left( \frac{h_{IPE,c}}{2} + h_p \right) = 19,68 * \left( \frac{0,065}{2} + 0,035 \right) = 1,33 \text{ kNm}$$

Napětí ve svárech kolmo na směr svarové housenky:

$$\tau_{\perp,2} = \sigma_{\perp,2} = \frac{\sigma_{w,2}}{\sqrt{2}} = \frac{M_{sd} z_2}{I_w \sqrt{2}}, \quad (7.14)$$

kde  $\tau_{\perp,2}$  je smykové napětí kolmé k ose svaru a  $\sigma_{\perp,2}$  je normálové napětí kolmé k účinné rovině koutového svaru.

$$\tau_{\perp,2} = \sigma_{\perp,2} = \frac{M_{sd} z_2}{I_w \sqrt{2}} = \frac{1,33 * 10^6 * 44,3}{4118088 * \sqrt{2}} = 10,11 \text{ MPa}$$

**Podmínky spolehlivosti pro únosnost koutové sváru jsou:**

$$1) \quad \sqrt{\sigma_{\perp,2}^2 + 3(\tau_{\perp,2}^2 + \tau_{II,2}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (7.15)$$

$$\sqrt{10,11^2 + 3(10,11^2 + 37,02^2)} \leq \frac{490}{0,9 * 1,25}$$

$$67,25 \leq 435,56 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$2) \quad \sigma_{\perp,2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (7.16)$$

$$10,11 \leq \frac{490}{1,25}$$

$$10,11 \text{ MPa} \leq 392 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení v bodě 1 svarového obrazce:

Napětí ve svarech kolmo na směr svarové housenky:

$$\tau_{\perp,1} = \sigma_{\perp,1} = \frac{M_{sd} z_1}{I_w \sqrt{2}} = \frac{1,33 * 10^6 * 53}{4118088 * \sqrt{2}} = 12,09 \text{ MPa}$$

**Podmínky spolehlivosti pro únosnost koutové sváru jsou:**

$$1) \quad \sqrt{\sigma_{\perp,1}^2 + 3\tau_{\perp,1}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (7.17)$$

$$\sqrt{12,09^2 + 3 * 12,09^2} \leq \frac{490}{0,9 * 1,25}$$

$$24,18 \leq 435,56 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$2) \quad \sigma_{\perp,1} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$12,09 \leq \frac{490}{1,25}$$



12,09 MPa ≤ 392 MPa

Vyhovuje

### 7.3 Návrh a posouzení spoje sloupu s patkou

Spojení sloupu s patním plechem je provedeno pomocí vnořeného ocelového plechu a svorníků.

Vstupní hodnoty a materiálové charakteristiky dřeva:

Třída dřeva [-]:		GL28
Třída provozu [-]:		1
Třída trvání zatížení [-]:		krátkodobé
Charakteristická hustota dřeva [kg.m <sup>-3</sup> ]:	$\rho_k$	410
Modifikační součinitel [-]:	$k_{mod}$	0,9
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu [-]:	$\gamma_M$	1,25
Tloušťka krajního dřevěného prvku [-]:	$t_1$	95

Materiálové a rozměrové charakteristiky ocelového plechu:

Třída oceli [-]:		S355
Tloušťka ocelové desky [mm]:	$t$	10

Materiálové a rozměrové charakteristiky svorníků:

Pevnostní třída svorníků:		4.8
Průměr kolíků [mm]:	$d$	12
Charakteristická pevnost svorníku v tahu [MPa]:	$f_{u,k}$	400

Vnitřní síly působící ve spoji:

Posouvající síla  $V_{y,d} = 3,557$  kN

**Posouzení:**

Návrhová únosnost spoje:

Je stejná jako v kapitole 6.3.5.

**Celková návrhová únosnost spoje (1 řada po dvou svornících):**

$$F_{vc,Rd} = n_{ef} * F_{v,Rd} = 2 * 13,98 = 27,95 \text{ kN}$$

**Posouzení jednoho svorníku ve stříhu dle (6.7):**

$$\frac{R}{F_{vc,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{3,557}{27,95} \leq 1$$

$$0,13 \leq 1$$

**Vyhovuje**

Kontrola rozmístění svorníků:

Rozteče a vzdálenosti jsou stejné jako ve spoji sloupu a ocelového svařence.

Úhel mezi výslednou silou  $R$  a směrem vláken:

$$\alpha = 90^\circ$$

Tabulka 7-1. Minimální a skutečné rozteče mezi svorníky a vzdálenosti kolíků od okrajů a konců s posudkem.

Vzdálenost/rozteč	Úhel $\alpha$ [°]	Minimální rozteč [mm]	Skutečná rozteč [mm]	Posudek
$a_1$	90	$(4 +  \cos\alpha )d = 48$	80	Vyhovuje
$a_{3,c}$	90	$\max(7d; 80\text{mm}) = 84$	85	Vyhovuje
$a_{4,c}$	270	$3d = 36$	60	Vyhovuje
$a_{4,t}$	90	$\max\{(2 + 2\sin\alpha)d; 3d\} = 48$	60	Vyhovuje

## 7.4 Kotevní šrouby

Na patku působí pouze tlaková síla, proto jsou kotevní šrouby navrženy pouze konstrukčně. Je tak navrženo lehké nenosné kotvení pomocí 4 šroubů M20 pevnostní třídy 4.6. Kotevní šrouby budou do betonové stropní desky kotveny pomocí chemických kotev.

## 8 Montáž domu

Po vykonání zemních prací, založení a vybetonování prvního podzemního podlaží a výtahové šachty nastává samotná montáž dřevostavby.

### 8.1 Betonáž stropní desky prvního podzemního podlaží

V betonové stropní desce prvního podzemního podlaží je nutné vytvořit dutiny pro vložení smykové zarážky a podlití patního plechu. Pro ukotvení patního plechu musí být také vytvořeny dutiny pro kotevní šrouby, které budou ukotveny pomocí chemických kotev. Při betonáži je počítáno s většími nepřesnostmi, proto budou otvory pro kotevní šrouby v patním plechu předem připraveny s větším průměrem.

### 8.2 Výstavba nosné konstrukce

Po vybetonování stropní desky nad 1.PP budou patní plechy podlity a konstrukčně ukotveny k železobetonové desce. Na patní plechy poté budou pomocí svorníků a vnořeného ocelového plechu přichyceny sloupy. Na horním konci sloupů jsou následně opět za pomoci vnořeného plechu a svorníků ukotveny ocelové svařence, které jsou nutné pro montáž stropních a střešních průvlaků, nosníků a také ztužujících prvků.

Do ocelových svařenců budou následně vloženy průvlaky, na které je však nutné předem namontovat pomocí hřebíků třmeny pro uložení stropních nosníků. Průvlaky budou ke svařenci přichyceny pomocí vrutů. Světlá vzdálenost připojovacích plechů mezi svařenci bude o 5 mm větší než samotný průvlak, je nutné zajistit, aby se dřevo průvlaku svým horním okrajem nedotýkalo ocelového plechu z důvodu zamezení drcení dřeva při jeho velkém zatížení. V rohových částech bude stojina svařence prodloužena a obvodový stropní nosník bude přichycen pomocí kolíků, jako je tomu u stropních nosníků v rovině vnitřních ztužidel.

Na uložené průvlaky budou následně do plechových třmenů uloženy stropní nosníky a přichyceny pomocí hřebíků. V rovině připojení vnitřních ztužidel jsou stropní nosníky připojeny pomocí kolíků a vnořených ocelových plechů. Na stropních nosnících jsou následně pomocí hřebíků přichyceny OSB desky, které tvoří záklop a ztužení v rovině stropů a střechy.

Vnitřní ztužidla budou v konstrukci přichycena pomocí vnořených plechů a kolíků. U paty sloupu jsou přichyceny na plech, který je součástí patních plechů, na stropní nosníky jsou přichyceny také pomocí vnořených plechů a kolíků. Vnější ztužidla jsou tažené ocelové diagonály a jsou přichyceny k patnímu plechu a k ocelovému svařenci pomocí dvou šroubů. Zde je nutné dbát na to, aby se ztužidla připojovala na připojovací plechy na vnější straně a došlo tak k jejich křížení. Tažené diagonály jsou utaženy pomocí napínací matice.

Tímto způsobem budou vystavěna všechna podlaží, kdy sloupy dalších podlaží jsou připojeny na ocelový svařenec pomocí vnořeného plechu a svorníků.

Přichycení dřevěného skeletu k betonové konstrukci schodiště musí být realizováno s umožněným svislým posunem, z důvodu rozdílného sedání betonové a dřevěné konstrukce.

### **8.3 Výstavba dělicích konstrukcí**

V místech, kde se nenachází obvodová ztužidla budou obvodové stěny připraveny z části předem, jedná se o stěny, jejichž nosnou konstrukci tvoří nosníky Steicowall. Stěny budou tvořeny spodními a horními hranoly, nosníky a z jedné strany budou zaklopeny z OSB desek. Teprve po ukotvení do betonové stropní desky a průvlaků, je možné do stěny vkládat tepelnou izolaci a mohou být z druhé strany zaklopeny OSB deskami. Do betonové stropní desky budou stěny ukotveny přes spodní hranoly za pomoci chemických kotev, horní hranoly budou k průvlaků přichyceny bodově za pomoci dvojice hřebíků. Obvodové stěny v dalších podlažích budou ukotveny do průvlaků pouze pomocí dvojice hřebíků. V rámci výstavby obvodových stěn bez ztužidel bude také vystavěna atika, jejíž skladba je obdobná.

Obvodové stěny, ve kterých se nachází obvodová ocelová ztužidla budou vystavěny přímo na stavbě. Konstrukce stěny je žebříková, kdy jsou nosné sloupky stěny ve čtvrtině příčně spojeny pomocí příčných hranolů a hřebíků. Stěny mají takovou konstrukci právě z důvodu přítomnosti ztužidel, proto je nutné se vyhnout kolizi ztužidla a příčného spojení sloupků. Systém výstavby bude obdobný jako u

předchozí obvodové stěny, po ukotvení spodních a horních hranolů pomocí hřebíků a chemických kotev a výstavbě sloupků, budou z vnější strany sloupky zaklopeny, poté bude mezi sloupky vkládána tepelná izolace, po vložení tepelné izolace následuje zaklopení z vnitřního líce stěny. Po výstavbě všech obvodových stěn je možné do konstrukce vložit okna. Nad okny je nutné mít dilatační spáru z důvodu sedání dřevěné konstrukce.

Vnitřní stěny se ztužidly budou vystavěny obdobně jako vnější obvodové stěny se ztužidly.

Po výstavbě obvodových stěn a vnitřních stěn se ztužidly bude dodělána konstrukce stropů a střechy. Vrstvy střechy budou kladeny na záklop střešních nosníků postupně dle pořadí vrstev v její skladbě. Mezi stropní a střešní nosníky bude vložena tepelná izolace, v původním skladbě stěn je tepelná izolace umístěna na systém latí, byl by však problém s ukotvením dělicích příček, proto by byl projekt upraven a stropní a střešní nosníky by byly na spodní straně zaklopeny OSB deskami.

Po zaklopení stropů budou postaveny dělicí příčky. Budou ukotveny na horní záklop stropních nosníků, u stropu pak budou přichyceny právě do spodního záklopu stropních nosníků, tedy také do OSB desek. Přichycení a výstavba příček bude realizována dle výrobce [32]. Po výstavbě všech dělicích konstrukcí je teprve možné podkládat systém podlahy a podhledu.

## **8.4 Dokončovací práce**

V rámci dokončovacích prací budou dodělány všechny vrstvy dělicích konstrukcí, tedy systémy hranolů a sádrovláknitých desek na vnitřním líci obvodových stěn, systémy stropních podhledů a na vnější stranu obvodových konstrukcí bude kotvena tepelná izolace s vnější omítkou.

## 9 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout vícepodlažní obytný dům z materiálů na bázi dřeva se systémem těžkého dřevěného skeletu. Architektonicky byl tedy navržen pětipodlažní dům s jedním podzemním podlažím a balkóny. Podzemní podlaží, schodiště a výtahová šachta byla navržena z konstrukce betonu, čtyři nadzemní podlaží byly navrženy ze dřeva s konstrukcí těžkého skeletu, balkóny byly navrženy z oceli. Ocelové konstrukce balkonu a betonové konstrukce podzemního podlaží, schodiště a šachty dále v rámci této bakalářské práce nebyly řešeny.

Pro konstrukci těžkého dřevěného byl zvolen podélný konstrukční systém, kdy jsou na podélný systém průvlaků uloženy stropní nosníky. Nosnou konstrukci skeletu tvoří rostlé dřevo třídy C24 a dále pak lepené lamelové dřevo GL24, GL28 a GL32. Ztužení konstrukce je zajištěno nejen dřevěnými ztužidly, ale také ocelovými taženými diagonálami. Ztužení ve vodorovné rovině je zajištěno OSB deskami tvořící záklon stropních nosníků.

Spoje dřevěných prvků byly provedeny s použitím ocelových plechů a ocelových spojovacích prostředků typu kolíků, svorníků vrutů a hřebíků. Spoje ocelových prvků a plechů byly provedeny pomocí svárů a šroubů.

Kotvení sloupů těžkého skeletu bylo provedeno pomocí patního plechu a pro přenos vodorovných sil byla navržena smyková zarážka.

Pro výpočet vnitřních sil byl vytvořen funkční prostorový model v komerčním softwaru RFEM. Posouzení prvků již pak bylo provedeno ručně dle příslušných norem. Všechny navržené prvky vyhověly požadavkům jak pro mezní stav únosnosti, tak mezní stav použitelnosti.

Celkově byl konstrukční systém a také výpočetní model navržen co nejjednodušeji, a proto by některé oblasti zasloužily hlubší poznání. V prostorovém výpočetním modelu došlo k některým zjednodušením, například spoj průvlaků a sloupů se v realitě blíží možná více spoji polotuhému než kloubovému. Proto by bylo vhodné v budoucnu konkrétní spoje s konkrétními spojovacími prostředky namodelovat a zjistit tak přesné tuhosti konkrétních spojů a jejich ovlivnění výsledků. Toto téma pak může být dále zkoumáno v diplomové práci.

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Antonínu Lokajovi za jeho čas, vstřícnost a cenné rady, bez kterých by tato práce nebyla dokončena. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Miroslavu Rosmanitovi za jeho čas a rady a při řešení problematiky ocelových konstrukcí. Také bych rád poděkoval panu Ing. Přemyslu Pařenicovi za jeho čas, pomoc a cenné rady při řešení prostorového modelu konstrukce ve výpočetním softwaru.

## Použitá literatura

- [1] KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2275-7.
- [2] VAVERKA, Jiří. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4.
- [3] BÍLEK, Vladimír. *Dřevostavby: navrhování dřevěných vícepodlažních budov*. Praha. ISBN 80-010-3159-4.
- [4] Sruby vs. roubenky. *Dřevo a stavby.cz: Konstrukce dřevostaveb* [online]. 17.2.2018 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/4487-sruby-vs-roubenky>
- [5] Srub Arkansas 12. In: *Srub.cz* [online]. 2015 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.srub.cz/fotogalerie/>
- [6] Roubenka Arizona 10. In: *Srub.cz* [online]. 2015 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.srub.cz/fotogalerie/>
- [7] Maměnka a Libušín Dušana Jurkoviče. *Pustevny* [online]. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.pustevny.cz/jurkovicovy-stavby>
- [8] Quidó Hoepfner. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Quid%C3%B3\\_Hoepfner](https://cs.wikipedia.org/wiki/Quid%C3%B3_Hoepfner)
- [9] Jurkovičům dům. In: *Luháčovice.cz: Oficiální průvodce lázeňským městem* [online]. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <http://www.luhacovice.cz/1707-architektura>
- [10] Jak Rýmařov k okálu přišel. *Rýmařovské domy* [online]. 28.3.2013 [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <https://www.rdrymarov.cz/novinky-a-akce/jak-rymarov-k-okalu-prisel>
- [11] Okál. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ok%C3%A1l>
- [12] Okál. In: *Dřevoastavby.cz* [online]. 11.6.2012 [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/rekonstrukce/1679-stary-okal-s-novou-tvari>
- [13] Projekty. *Rýmařovské domy* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.rdrymarov.cz/novinky-a-akce/projekty-rodinnych-domu-rd-rymarov>
- [14] V Nórsku dokončili nejvyšší dřevenou stavbu na světě. *Dřevařský magazín* [online]. 5. 10. 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.drevmag.com/cs/konstrukce/6463-v-norsku-dokoncili-najvyssi-drevenu-stavbu-na-svete>

- [15] Konštrukčné riešenie Mjøsa Tower. In: *Dřevarařský magazín* [online]. 5. 10. 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.drevmag.com/cs/konstrukce/6463-v-norsku-dokoncili-najvyssiu-drevenu-stavbu-na-svete>
- [16] 85,4 metrov vysoká Mjøsa Tower v nórskom meste Brumunddal. In: *Dřevarařský magazín* [online]. 5. 10. 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <http://www.drevmag.com/cs/konstrukce/6463-v-norsku-dokoncili-najvyssiu-drevenu-stavbu-na-svete>
- [17] 36er outer wall. In: *Thoma* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.thoma.at/wood100-wall-types/?lang=en>
- [18] Masivní dřevostavby a požadavky na ně kladené. *Tzbinfo* [online]. 16.9.2013 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/10345-masivni-drevostavby-a-pozadavky-na-ne-kladene>
- [19] Rodinný dům Beskydy. *DŘEVOSTAVBY MC* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.drevostavby-mc.cz/projekt/rodinny-dum-beskydy/>
- [20] Statistika výstavby dřevostaveb 2018 - počet nových dřevostaveb v ČR neustále roste. *Dřevoastavby.cz* [online]. 5.6.2019 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/doporucujeme/5515-statistika-vystavby-drevostaveb-2018-pocet-novych-drevostaveb-v-cr-neustale-roste>
- [21] *Mapy Google* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>
- [22] Archicad 21 (studentská verze). *Graphisoft* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.graphisoft.com/archicad/>
- [23] DLUBAL RFEM 5.20 (studentská verze) - Profesionální program pro statické výpočty *Dlubal: Software pro navrhování a výpočty konstrukcí* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs/produkty/rfem/zakladni-informace>
- [24] Steicowall. *Steico: Stavební systém z přírody* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.steico.com/cz/produkty/stegraeger/steicowall/prehled/>
- [25] Styrotherm plus 100. *Styrotrade* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://styrotrade.cz/cs/produkty/fasady/izolace-pro-kontaktni-zateplovaci-systemy-etics/styrotherm-plus-100/>
- [26] Isover PIANO. *ISOVER: SAINT-GOBAIN* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-piano>
- [27] Isover UNI. *ISOVER: SAINT-GOBAIN* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-piano>
- [28] Sádroláknitá deska Fermacell. *DEK* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [https://www.dek.cz/produkty/detail/3630453392-fermacell-12-5-deska-2000x1250x12-5mm?tab\\_id=popis](https://www.dek.cz/produkty/detail/3630453392-fermacell-12-5-deska-2000x1250x12-5mm?tab_id=popis)
- [29] Parozábrana DEKFOL N 110. *DEK* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/2600601000-dekfol-n-110-standard-75m2->



[bal?tab\\_id=popis&gclid=Cj0KCQjwncT1BRDhARIsAOQF9Llx8J9prCk26XrnUJTMyc30YTQ5pB\\_3QU4K4i1eMi2O0x84NpqfbQ8aAi2tEALw\\_wcB](https://www.cemix.cz/produkty/lepici-a-sterkova-hmota-basic)

- [30] Lepicí a stěrková hmota BASIC. *Cemix* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.cemix.cz/produkty/lepici-a-sterkova-hmota-basic>
- [31] Silikátová omítka *Cemix* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.cemix.cz/produkty/lepici-a-sterkova-hmota-basic>
- [32] Příčky. *Rigips: Saint-Gobain* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.rigips.cz/reseni/pricky/>
- [33] Isover EPS 100. *Isover: Saint-Gobain* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-100>
- [34] Isover TOP V. *ISOVER: Saint-Gobain* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-top-v>
- [35] Podhledy. *Rigips: Saint-Gobain* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.rigips.cz/reseni/podhledy/>
- [36] Podlahová sádrovláknitá deska Fermacell E25. *DEK* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [https://www.dek.cz/produkty/detail/3630453205-fermacell-e25-podl-prvek-1500x500x25mm-2e22?tab\\_id=popis](https://www.dek.cz/produkty/detail/3630453205-fermacell-e25-podl-prvek-1500x500x25mm-2e22?tab_id=popis)
- [37] *Hydroizolační asfaltový pás GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [https://www.dek.cz/produkty/detail/1010151880-glastek-40-special-mineral-role-7-5m?tab\\_id=popis&gclid=Cj0KCQjwncT1BRDhARIsAOQF9LIILDt0kKs4aJlXJ2QDKOi4QaDN-1uyGv0h58u\\_es7wp0lGczPVg\\_oaAkRxEALw\\_wcB](https://www.dek.cz/produkty/detail/1010151880-glastek-40-special-mineral-role-7-5m?tab_id=popis&gclid=Cj0KCQjwncT1BRDhARIsAOQF9LIILDt0kKs4aJlXJ2QDKOi4QaDN-1uyGv0h58u_es7wp0lGczPVg_oaAkRxEALw_wcB)
- [38] Spádové klíny Styrotrade styro EPS 100. *E-zatepleni.cz* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.e-zatepleni.cz/zobraz-detail.php?rw=1&idzbozi=3217&sekce=13&tabulka=6&idfiltr=121&nazevzboziUrl=spadove-kliny-styrotrade-styro-eps-100-1000x1000x2040mm>
- [39] *ČSN EN 1991-1-1, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004. Změny a opravy: Z1 2.10t, Oprava 1 2.10t, Z2 3.10t.
- [40] *ČSN EN 1991-1-4, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [41] *ČSN EN 1991-1-3, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. Změny a opravy: A1 6.16t.
- [42] *Mapa zatížení sněhem na zemi* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://clima-maps.info/snehovamapa/>
- [43] KUKLÍK, Petr a Anna KUKLÍKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-88-7.

- [44] ČSN EN 1993-1-1, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Změny a opravy: A1 2.16t, Oprava 1 6.16t.
- [45] 07221 Dvojité napínací matice z ocelové trubky, uzavřené provedení DIN 1478. *Marek Industrial a.s.* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.marek.eu/katalog-obrazku/produkt-24892/58567-07221-datasheet-18359-dvojit-nap-nac-matice-z-ocelov-trubky-uzav-en-proveden-din-1478-cs.pdf>
- [46] Třmen BV/T 11-40. *BOVA* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <http://bova-nail.cz/produkt/trmen-bvt-11-40/>
- [47] Konvexní hřebík BV/KH 15-01. *BOVA* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <http://bova-nail.cz/produkt/konvexni-hrebik-bvkh-15-01/>
- [48] *Rothoblaas* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.vruty-koudelak.cz/>
- [49] ČSN EN 1993-1-8, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: Český normalizační institut, 2006. 38 Změny a opravy: Z1 3.10t, Oprava 1 7.10t, Z2 7.11t, Z3 11.13t, Oprava 2 11.13t.

## Seznam příloh

### Seznam výkresů:

Stavební část:	01	Půdorys 1.PP
	02	Půdorys 1.NP
	03	Půdorys 2.NP
	04	Půdorys 3.NP
	05	Půdorys 4.NP
	06	Řez F-F
	07	Severní pohled
	08	Jižní pohled
	09	Západní pohled
	10	Východní pohled
Konstrukční část:	11	Výkres skeletu - půdorys stropu
	12	Výkres skeletu - půdorys střechy
	13	Výkres skeletu – podélný pohled
	14	Výkres skeletu - řez I-I
Výkresy spojů:	S01	Spoj stropní nosník - průvlak
	S02	Spoj stropní nosník vnitřní ztužení
	S03	Spoj sloup – průvlak
	S04	Spoj stropní nosník – ocelový svařenec
	S05	Kotvení