



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Červený Jméno: Petr Osobní číslo: 424446

Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Bytové domy na bázi dřeva

Název bakalářské práce anglicky: Timber Framed Residential Houses

Pokyny pro vypracování:

Bakalářská práce bude zaměřena na bytové domy na bázi dřeva. Bude obsahovat technickou zprávu, statický výpočet, výkresovou dokumentaci včetně vybraných detailů pro budovu s lehkým dřevěným skeletem. Pro porovnání bude zpracována varianta s použitím masivního deskového systému.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Kuklík: Dřevěné konstrukce, ČVUT Praha
- [2] Kuklík, Kuklíková, Mikeš: Dřevěné konstrukce 1, Cvičení, ČVUT Praha
- [3] Studnička, Holický: Ocelové konstrukce 20 - Zatížení staveb, ČVUT Praha
- [4] http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf
- [5] ČSN EN 1995-1-1

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Petr Kuklík, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

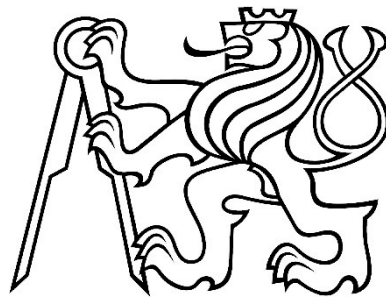
20.2.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Část IV.
Studie vícepodlažních dřevostaveb

Květen, 2017

Petr Červený

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Petr Červený

25. května 2017

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Petru Kuklíkovi, CSc. za konzultace, vedení a užitečné rady při vypracovávání bakalářské práce.

Anotace

Cílem bakalářské práce je zpracovat návrh nosné konstrukce bytového domu. Bytový dům má čtyři nadzemní podlaží a je nepodsklepený. Přízemí a jádro je z monolitického železobetonu, ostatní části tvoří dřevěná konstrukce. Dřevěná část je konstrukčně řešena ve dvou variantách - jako lehký dřevěný skelet a jako konstrukce z masivních deskových panelů (CLT panelů).

Práce se skládá ze čtyř částí, kterými jsou technická zpráva, statický výpočet, výkresová část a studie vícepodlažních dřevostaveb. Studie obsahuje obecné informace o jednotlivých konstrukčních systémech a dále jsou v ní řešeny vybrané problémy, na které jsem během práce soustředil. Veškeré výpočty jsou provedeny podle evropských norem zavedených do systému českých norem ČSN EN.

Klíčová slova: dřevostavba, bytový dům, materiály na bázi dřeva, lehký skelet, CLT panely

Abstract

The aim of bachelor thesis is to develop a design of a supporting structure for an residential house which has four floors and no basement. The ground floor and core are made of reinforced concrete and all other parts are made of wood. The wooden part is constructed in two variants - as a timber framed construction and as a construction made of CLT panels.

The work consists of four parts, the technical report, the static calculations, drawings and a study of multi-storey wooden buildings. The study contains general information about individual construction systems as well as selected problems which appeared during the work. All calculations are performed in accordance with European standards established in the Czech standard system ČSN EN.

Key words: wooden building, residential houses, wood-based materials, timber framed structure, CLT panels

Obsah

1 Úvod	6
2 Popis objektu.....	7
2.1 Základní informace o objektu.....	7
2.2 Půdorysné a výškové řešení	7
2.2.1 Půdorysné schéma	8
2.2.3 Výškové schéma	11
3 Konstrukční systémy dřevostaveb.....	12
3.1 Základní přehled.....	12
3.2 Volba konstrukčního systému	13
3.3 Lehké skelety	14
3.3.1 Průřezy a materiály používané pro lehké skelety	16
3.4 Masivní deskové panely	16
3.4.1 Křížem vrstvené dřevo (CLT = cross laminated timber)	18
3.4.2 O systému NOVATOP	18
3.5 Možnosti prefabrikace	19
3.5.1 Prefabrikace lehkých skeletů.....	19
3.5.2 Prefabrikace masivních deskových panelů.....	20
4 Vybrané konstrukční a technické problémy.....	23
4.1 Spřažené dřevobetonové stropy (pomocí VB vrutů SFS Intec)	23
4.1.1 Návrh spřaženého dřevobetonového stropu.....	24
4.2 Otláčení spodního prahu sloupkové konstrukce.....	25
4.3 Navrhování masivních deskových dílců – CLT panelů	25
4.4 Tepelná technika	26
4.5 Skelet - 3D model, výkaz řeziva, doba výroby, cenová kalkulace.....	29
5 Závěr.....	33
6 Seznam použité literatury	34

1 Úvod

V dnešní době je téma této práce (výškové budovy na bázi dřeva) skloňováno ve všech pádech. V evropských zemích jsou postaveny budovy o 12 podlažích, ve Vídni se připravuje budova o 24 podlažích (vysoká cca 84 m). Některé vize hovoří i o mrakodrapech ze dřeva (Oakwood Tower London – 80 pater, výška 304 m). Tyto vize jsou ovšem v dohledné době pravděpodobně nereálné. V ČR se z důvodů přísných požárních norem a předpisů staví bohužel prozatím jen maximálně 4-podlažní budovy. Lze ovšem věřit, že vzhledem k současnému světovému trendu a ve snaze jít s dobou se i u nás brzy povede zrealizovat více než 4-podlažní dřevěnou budovu.

Ve své práci se zabývám porovnáním dvou stěžejních systémů dřevěných konstrukcí pro výškové budovy – lehkého skeletu a masivního deskového systému. Obsahuje teoretickou část, ve které popisuji řešený objekt, obecně popisuji konstrukční systémy dřevostaveb, podrobněji se zabývám problematikou dvou již zmíněných systémů a dále řeším vybrané problémy (především spřažené dřevo-betonové stropy, otláčení spodního prahu, navrhování masivních deskových dílců – konkrétně CLT panelů, tepelnou techniku, atd.), na které jsem během tvorby této práce soustředil. Práce dále obsahuje statické výpočty a výkresovou část, která je zpracována pro obě varianty (včetně vybraných detailů) a slouží k porovnání obou systémů.

2 Popis objektu

2.1 Základní informace o objektu

Jedná se o novostavbu bytového domu, který je převážně určen pro mladé rodiny a obsahuje 12 bytových jednotek. Jde o 4-podlažní nepodsklepený objekt s rozměry 12,1 x 23,5 m, 1. NP tvoří železobetonová konstrukce, ostatní podlaží tvoří železobetonové jádro se dvěma osově symetrickými křídly, která jsou řešena ve dvou variantách: jako lehký skelet a jako konstrukce z masivních CLT panelů (stěnové panely NOVATOP SOLID + stropní panely NOVATOP ELEMENT). Střecha domu je plochá, lemována atikami. Objekt je založen na základových pasech. Vstup do objektu a vjezd do garáží je po rampě v úrovni 0,3 m nad terénem. Objekt není navržen pro osoby se sníženou schopností pohybu.

Užitná plocha (skelet):

- 1. NP - 222,36 m²
- 2. NP - 192,73 m²
- 3. NP - 192,73 m²
- 4. NP - 192,73 m²
- celkem - 800,55 m²

Užitná plocha (CLT):

- 1. NP - 222,36 m²
- 2. NP - 200,17 m²
- 3. NP - 200,17 m²
- 4. NP - 200,17 m²
- celkem - 822,87 m²

Zastavěná plocha: 311,01 m² (včetně vnějšího schodiště a ramp)

Obestavěný prostor objektu: 4 082,01 m³

Využití objektu: V 1.NP se nachází 6 garáží, sklepy a technická místnost. Ve 2.NP až 4.NP se nachází celkem 12 bytů, na každém patře 4 byty. Každý byt má chodbu, obývací pokoj, kuchyni, WC a koupelnu.

2.2 Půdorysné a výškové řešení

Řešení půdorysu a rastrový rozměr lze volit libovolně, při čemž je nutné zohlednit nejen statické požadavky, ale i konstrukční a výrobní možnosti. U lehkých skeletů je běžné uspořádání v malém rastru. Dřevěné konstrukční prvky se s výhodou rozmisťují v rastru 625 mm. Zvolený rastr určuje strukturní řád stavebního záměru. Při použití bednění z rostlého dřeva nebo třískových desek jako výztužného pláště byla dříve běžná rastrová vzdálenost 650 mm. Dnes se při používání desek na bázi dřeva a sádrovláknitých desek s obchodní šířkou 1250 mm plánuje a staví v rastrovém rozměru 625 mm. Při použití jiných stavebních materiálů může mít význam i jiný rastr.

Základní kritéria pro stanovení rastrového rozměru:

- formát izolačního materiálu
- obchodně běžné formáty plášťových materiálů

- modulová koordinace oken, balkonových dveří a vnitřních dveří
- členění fasády
- rozdělení prostoru

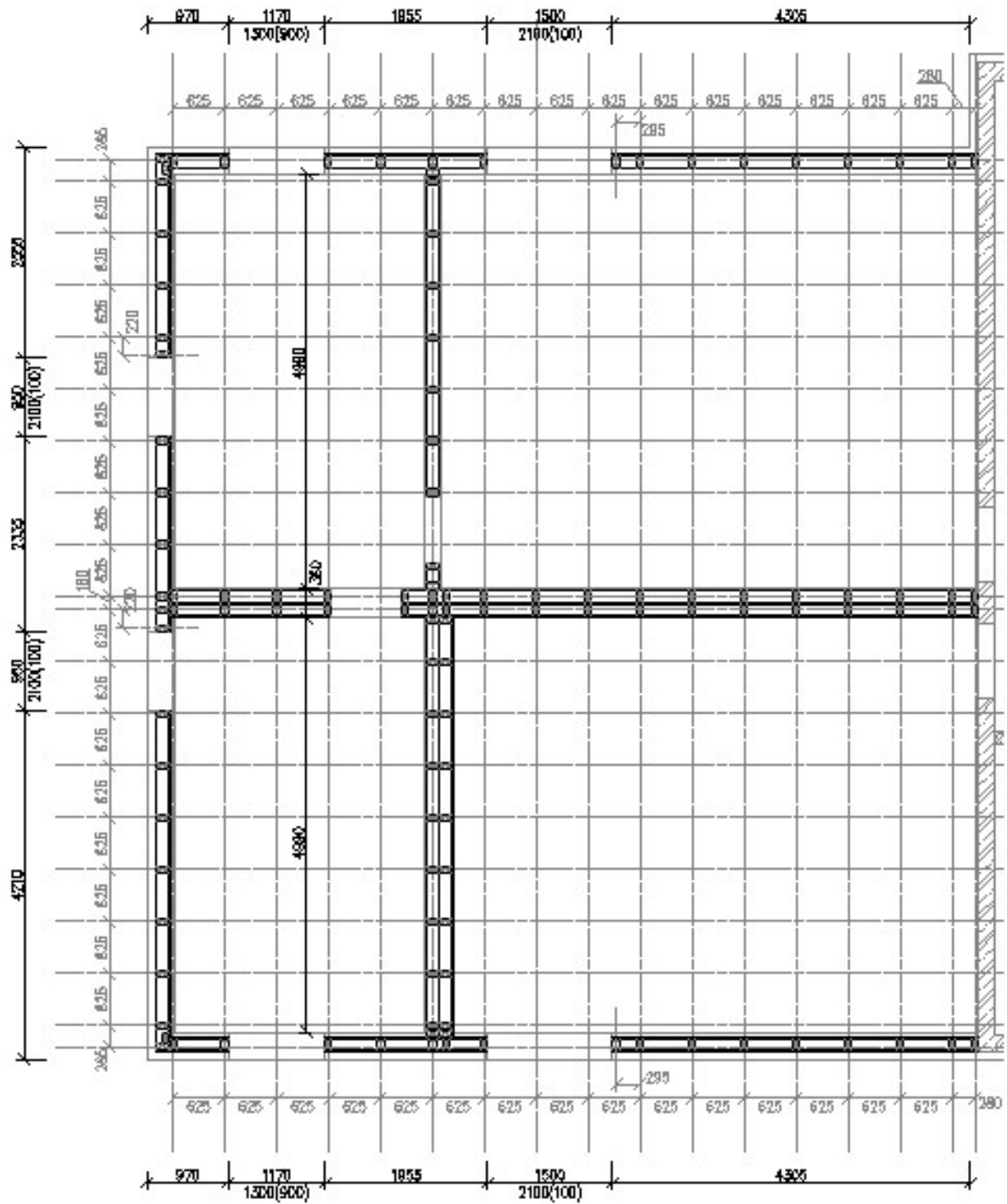
Na základě požadovaných světlostých výšek místností se stanoví konstrukční rozměry. Přitom musí být známo:

- skladba podlahy od hrubé betonové desky nebo stropního prvku
- průřez stropu včetně skladby podlahy a tropu
- obchodně běžné formáty desek na bázi dřeva
- nutné výšky prahu
- druh a velikost oken
- výšky parapetů a překladů

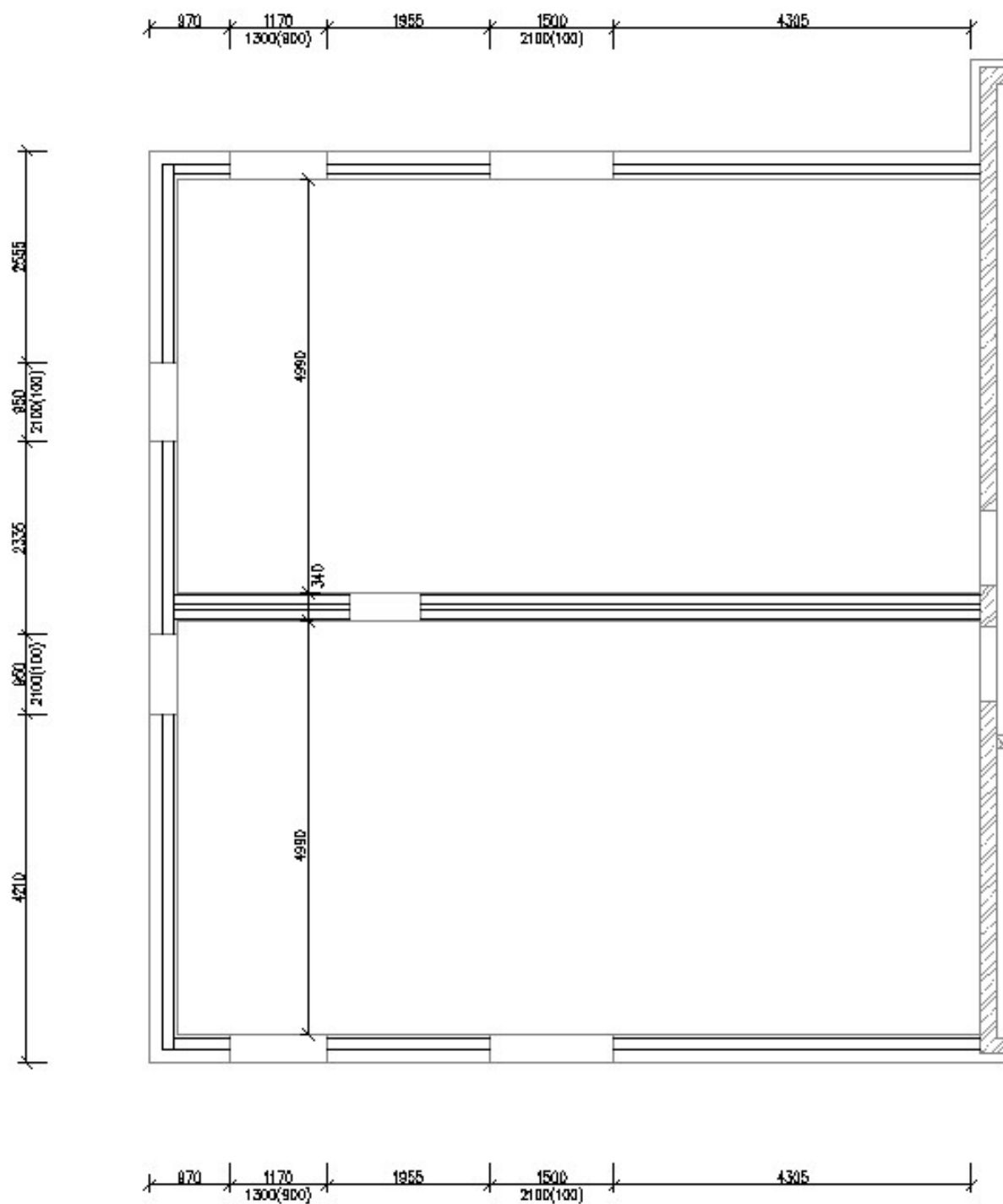
2.2.1 Půdorysné schéma

Při řešení tohoto bytového domu jsem volil běžný rastr 625 mm. Výchozí se stala poloha vnitřních ztužujících a mezibytových stěn a také vnější rozměr objektu. Aby bylo možné co nejlépe porovnat dva dané konstrukční systémy, bude mít druhý řešený objekt z CLT panelů stejné vnější rozměry, přibližně stejnou polohu vnitřních nosných stěn (vnitřní stěny jinak široké než u skeletové konstrukce), stejnou velikost a polohu otvorů, atd. Tento konstrukční systém ovšem neklade téměř žádný důraz na půdorysný rastr, jelikož opláštění konstrukce je mnohem jednodušší a panely se rozměrům otvorů přizpůsobí již při výrobě. Půdorysné řešení mého objektu je patrné na následujících schématech.

Půdorysné schéma - skelet

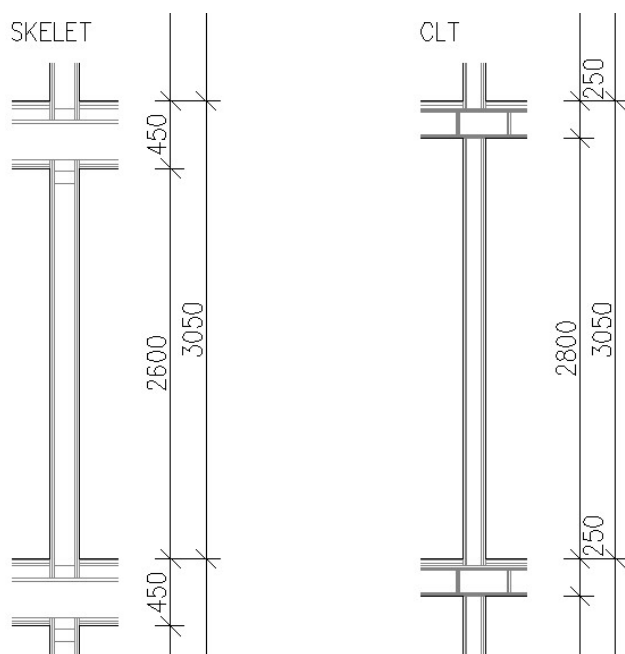


Půdorysné schéma - CLT



2.2.3 Výškové schéma

Řešení objektu vychází z minimální světlé výšky místnosti pro bytové domy (2600 mm) a tloušťky skladby dřevěného trámového stropu u lehkého skeletu (450 mm). Konstrukční výška je tedy 3050 mm. Pro možnost porovnání je u řešení pomocí CLT panelů zachována stejná konstrukční výška (3050 mm). Jelikož je tloušťka skladby u CLT panelů stropu menší (250 mm), je světlá výška místnosti zvětšena na 2800 mm. Výškové řešení objektu je patrné na následujících schématech.



3 Konstrukční systémy dřevostaveb

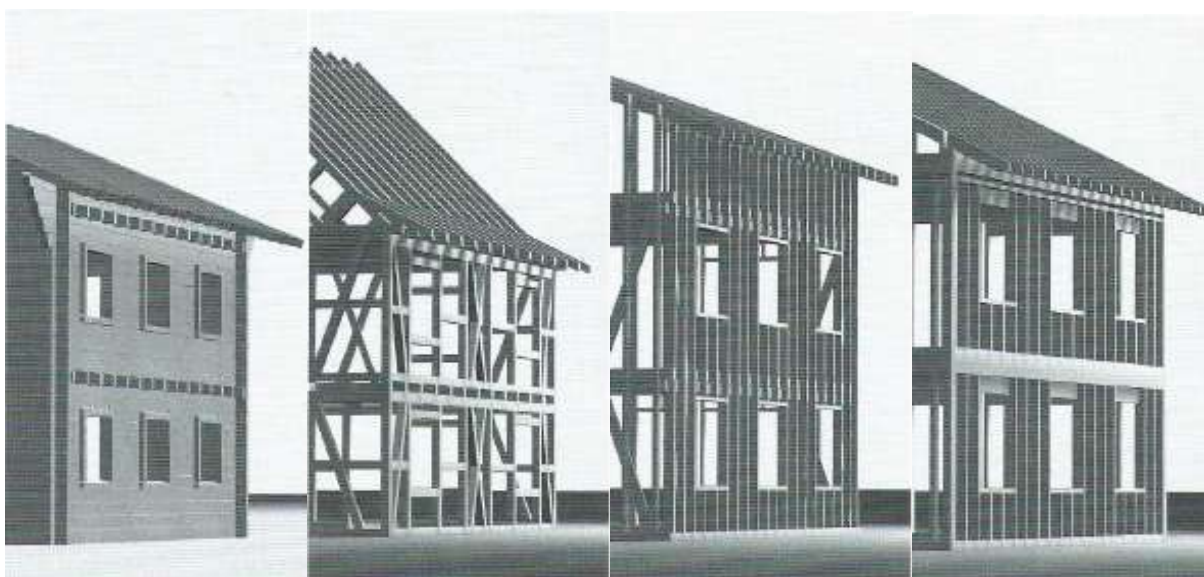
3.1 Základní přehled

V dřevěných stavbách se v technické oblasti objevují s ohledem na skladbu a uspořádání vrstev pláště budovy novodobá a výhodná řešení. Rovněž je patrná nová orientace v různých nosných systémech a tedy i ve vlastních systémech dřevěných staveb.

Základní typy konstrukčních systémů dřevostaveb:

- 1) srubové stavby,
- 2) hrázděné stavby,
- 3) Balloon-Frame,
- 4) Platform-Frame,
- 5) lehké skelety,
- 6) těžké skelety,
- 7) stavby z masivního dřeva.

Lehké skelety lze také nazývat českým termínem „rámové stavby“, podobně jako ekvivalentní německý termín „Rahmenbau“ popř. anglický termín „Timber frame houses“. Tento termín ale v žádném případě nevyjadřuje rámové působení domu ze statického hlediska. Při vysvětlení tohoto názvu lze vycházet z představy, že nosná kostra jednotlivých stěn má zpravidla tvar obdélníkového rámu tvořeného spodním a horním dřevěným prahem a krajními svislými sloupky. U nás je tento původně severoamerický systém někdy také označován „2x4 (two by four)“ podle původního průřezu základních konstrukčních prvků řeziva v palcích.



Ukázka srubové stavby

Ukázka hrázděné stavby

Ukázka Balloon-Frame

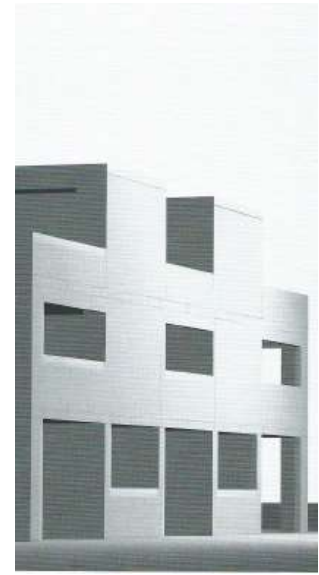
Ukázka Platform-Frame



Ukázka lehkého skeletu



Ukázka těžkého skeletu



Ukázka stavby z masivního dřeva

Tradiční systémy srubových nebo hrázděných staveb stejně jako konstrukční systémy Balloon-Frame a Plattorm-Frame ztratily již před delší dobou do značné míry na významu nebo se vyskytují pouze v jednotlivých regionech. Moderní stavění se dřevem se neomezuje na napodobeniny tradic. Současný vývoj v dřevěných stavbách odpovídá dnešnímu myšlení a jednání. Stavební odborníci se sice pokusí porozumět stavebním tradicím, musí však chápat dřevěné stavby především jako novou, moderní úlohu.

V současné době se převážně používají tyto konstrukční systémy: lehké skelety, těžké skelety, stavby z masivního dřeva a v menší míře srubové a roubené stavby (především pro rekreační chaty a chalupy). Moje práce se zabývá především prvním a třetím zmiňovaným systémem, jelikož těžké skelety mají význam spíše u halových nebo půdorysně rozměrnějších objektů a srubové a roubené stavby nemají u vícepodlažních budov význam.

Systémy se výrazně odlišují konstrukcí i vzhledem. Podle regionu nebo způsobu konstrukce jsou také rozdílně pojmenovány. Systémy, které jsou vyráběny a dodávány pod chráněnou ochrannou značkou, se označují jako systémy týkající se výrobků. Zpravidla jsou sériově vyráběné konstrukční systémy přiřazeny k masivním dřevěným stavbám, pokud podíl masivního dřeva překračuje 50% vlastního nosného systému,.

3.2 Volba konstrukčního systému

Pro volbu konstrukčního systému jsou základními kritérii prostor a funkce, situace a místo, konstrukce a materiál. Z toho vytvořená konstrukční struktura spojená s nosnou strukturou pro bezchybné přenášení zatížení tvoří společně s úvahami o plášti budovy včasné a důležité kritérium pro volbu systému dřevěné stavby. Koncepční navrhování stavby a tím volba systému je dalekosáhle ovlivněno přenosem zatížení. Koncepce, v nichž dochází jak k lineárnímu, tak i bodovému přenosu jsou výjimkou a lze je doporučit pouze pro překlenutí speciálních situací.

Běžně se také používají kombinace několika systémů, například spojení sloupů (těžký skelet) a masivních stropů, masivních stěn a trémových stropů nebo masivního ztužujícího jádra a skeletu.

U výškových budov se navíc používá i kombinace více materiálů:

- spojení dřeva a železobetonu – 1. nadzemní podlaží bývá běžně železobetonové (např. z důvodu případného nárazu vozidla do budovy, apod.)
- spojení dřeva a oceli

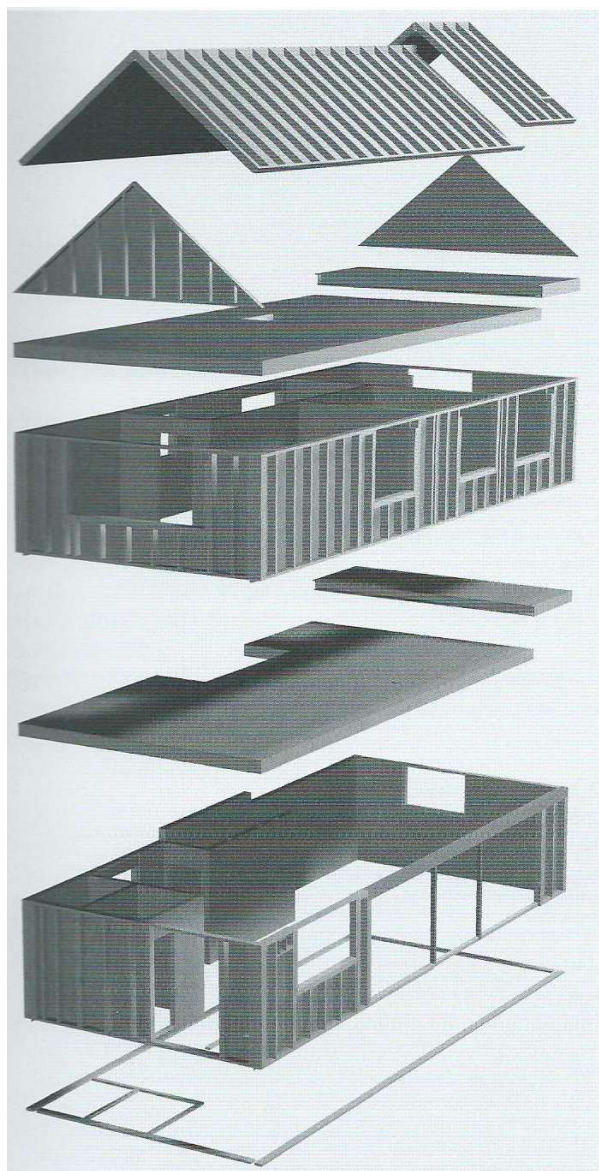
3.3 Lehké skelety

Nosná konstrukce lehkých skeletů sestává z tyčové nosné kostry, z řeziva a z pláště stabilizujícího nosnou kostru. Tyčová nosná kostra přitom přenáší svislá zatížení ze střechy a mezipatrových stropů, zatímco pláště z desek na bázi dřeva přenášejí vodorovná zatížení, která vznikají účinkem větru a výztužných sil.

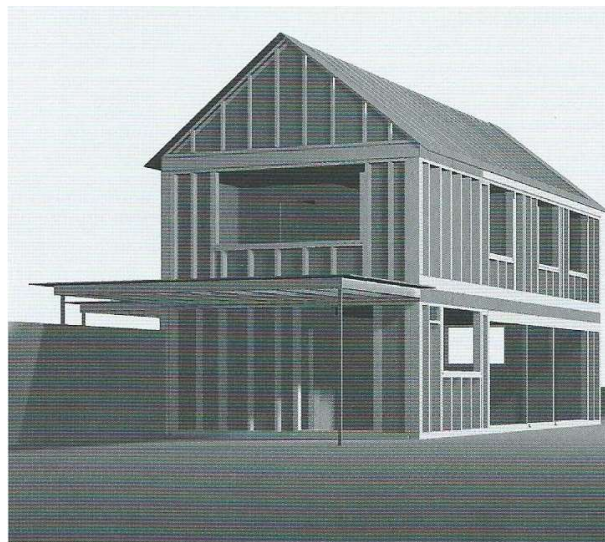
S ohledem na výrobu je základním principem dnešních lehkých skeletů prefabrikace ve výrobním závodě. Přitom se podle využití budovy navrhují různé skladby stěn, stropů a střechy a vyrábějí se jako dílce. Tak jako je běžné u předchůdce lehkých skeletů, stavebního systému Platform-Frame, také lehké skelety se projektují, konstruují, vyrábějí a montují poschodově.

Dílce se vyrábějí v klimatizovaných výrobních halách, které poskytují optimální výrobní podmínky. Pro precizní výrobu jsou k dispozici dopravní a výrobní stroje řízené počítačem. Pro přepravu a montáž se používají výkonné zdvihací a přepravní prostředky. Díky těmto pomocným zařízením je možné vyrábět dílce větších rozměrů než dříve. Již při navrhování je třeba brát ohled na přepravní podmínky. Předpisy silničního provozu tak omezují největší rozměry konstrukčních prvků. Montáž probíhá v co nejkratším čase, totiž v jednom až dvou dnech pro jeden rodinný dům.

Vnější vzhled takto konstruovaných domů často neodpovídá typu dřevěných domů, na jaký jsme byli dříve zvyklí, na první pohled není vůbec znát, že se jedná o dřevostavbu.



Nosná kostra je u lehkých skeletů uvnitř i zvenku zcela obložená. Kostra se většinou opatřuje kompaktní fasádou sestávající z venkovní izolace a omítky. Další možností je obklad fasády (často z desek na bázi dřeva nebo z rostlého dřeva). Jsou dobře a trvanlivě chráněny krycí povrchovou úpravou. Jako vnitřní obklad stěn slouží desky na bázi dřeva, sádrovláknité nebo sádrokartonové desky, které se omítají, natírají nebo také tapetují bílým odstínem. Lehké skelety jako převážně standardizovaný druh konstrukce se v posledních třech desetiletích staly na trhu běžné a lze je označit jako dobře zavedené.



Vlastnosti tohoto systému dřevěných staveb byly přizpůsobeny našim potřebám. Proto lze předpokládat, že se tento konstrukční systém bude dále prosazovat, protože je hospodárný a vyznačuje se jednoduchou konstrukcí a architektonickou volností uvnitř systému. Mimo to jsou používány průřezy dřeva a deskové materiály na bázi dřeva nebo sádry trvale dostupné ve vysokých jakostech a v krátké době k dispozici. Ve Švýcarsku a přilehlém zahraničí, ale také ve Skandinávii, Kanadě a USA byly již postaveny vícepodlažní rámové stavby. Zkušenosti jsou zcela pozitivní a ukazují, že rámové stavby jsou s úpravami vhodné také pro vícepodlažní stavby.

Charakteristické znaky dřevěných lehkých skeletů:

- volnost architektonického řešení;
- jednoduchý konstrukční systém;
- opakující se detaily;
- nosná kostra sestává ze štíhlých, standardizovaných průřezů;
- celkové vyztužení opláštěním;
- jednoduchá dostupnost materiálu;
- poschodová výstavba;
- spoje kontaktními styky a mechanickými spojovacími prostředky;
- rastrový rozměr 400-700 mm, přednostně a nejčastěji 625 mm;
- konstrukce oboustranně obložená;
- krátká doba výstavby, jsou možné různé stupně předvýroby.

Vícepodlažní lehké skelety:

- v modifikovaném typu vhodné;
- zvolit statický systém odolný vůči sednutí;
- optimalizovat vytvoření detailů také ve vztahu k sednutí;
- kombinace materiálů (smíšené konstrukce) pokud možno vyloučit;
- přesnost výroby a montáže má nejvyšší prioritu;
- je nutné včasné zapojení specializovaných projektantů.

3.3.1 Průřezy a materiály používané pro lehké skelety

Pro jedno a dvoupodlažní typy staveb jsou vzhledem k nosnému chování vyhovující dřevěné prvky s průřezem 60/120 mm. Dnes se ovšem u vnějších stěn požadují větší tloušťky izolace než 120 mm. Buď se musí průřezy zvětšit ze 120 na 160, 180, 200 atd. milimetrů, nebo se pro izolaci použije druhá izolační vrstva nezávislá na nosné konstrukci. Protože druhou izolační vrstvou lze současně také eliminovat tepelné mosty, je dnes tato alternativa běžnější. U vícepodlažních rámových staveb se musí rozměry průřezu zvětšit kvůli přenášení zatížení (80/140 mm, 100/160 mm atd. – dle zatížení). I tak je zde ale zcela běžná druhá izolační vrstva (např. 140 mm izolace mezi stojkami a 100 mm v druhé izolační vrstvě).

Jako materiál se používá rostlé dřevo - třída pevnosti C24, druh: smrk/jedle, vlhkost cca 12%.

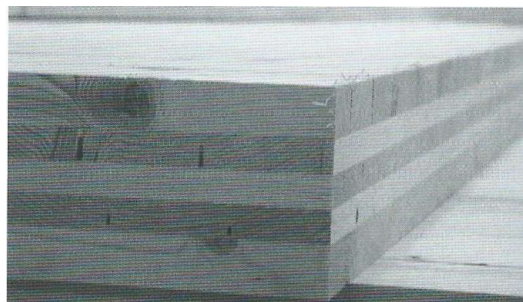
Další možností je použití konstrukčních hranolů KVH. Ty mají oproti rostlému dřevu řadu výhod:

- 1) Materiál je vysušený - při správném zabudování jej není třeba ošetřovat proti dřevokazným houbám a hmyzu. Navíc je vysokou teplotou během sušení sterilizován od možných zárodků biotických škůdců.
- 2) KVH hranoly jsou tvarově stálé. To znamená, že se již nekrotí a nepraskají.
- 3) Hranoly jsou tloušťkově a šířkově egalizované (mají po celé délce stejnou šířku i výšku). Tato vlastnost je důležitá pro dokonalou rovinnost stěn dřevostaveb, které se po opláštění velkoplošným materiálem nikde nevyboulí.
- 4) Délka se nejčastěji uvádí 13 m kvůli přepravě, ale výrobci jsou většinou schopni dodat i délky převyšující 20 m.
- 5) Hmotnost materiálu je díky suchému stavu nižší a je tak možné převést větší objem najednou.
- 6) Při zpracování na CNC obráběcím centru je výhodou jejich tvarová stálost (lze pak dosáhnout mnohem větší přesnosti).

KVH hranoly se běžně vyrábí do průřezu 100/240. Při větších rozměrech může dojít, i přes vysušený stav, ke kroucení a praskání dřeva. Proto se pro větší dimenze používají buď hranoly DUO/TRIO (dva nebo tři spleené KVH hranoly k sobě). Hlavní nevýhodou KVH hranolů oproti rostlému dřevu je jejich cena (za 1 m³ může být i dvojnásobná). Pro větší dimenze se pak používají BSH hranoly (čtyřstranně hoblované, lamelově lepené a délkově napojované hranoly, vyrobené ze sušeného řeziva).

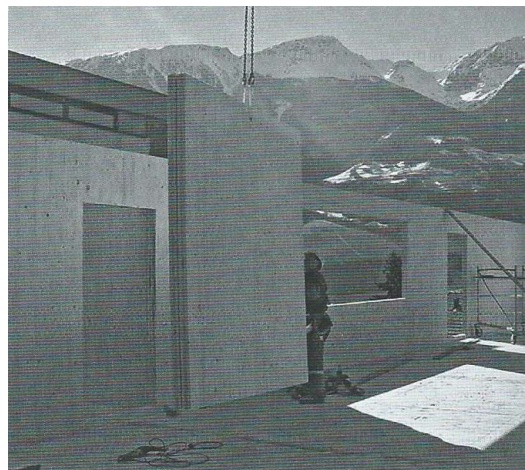
3.4 Masivní deskové panely

Možnost průmyslové výroby velkoplošných dílců vedla v posledních letech k vývoji a zavedení nových systémů. Plošné, současně nosné a prostor vytvářející dílce umožňují mnohostranné využití pro stěny, stropy a střechy. Konstrukční prvky sestávají většinou z masivního dřeva (lepeného, příčně lepeného, spojovaného



hmoždíky nebo hřebíky) nebo také, ovšem méně často, z desek na bázi dřeva (třískových desek, desek OSB atd.). Podstatnou část tvoří buď uzavřený, často masivní deskový průřez, nebo optimalizované skříňové dílce, které se sestavují do plošné konstrukce.

Hlavní část nosného systému vždy sestává z nosného jádra, které je vytvořeno z masivního dřeva nebo desek na bázi dřeva. Používá se výlučně jako plošně působící nosný systém. K přenosu zatížení proto dochází výztužnými tabulemi. Dalším společným znakem konstrukcí v rámci dřevěných masivních staveb je, že izolace se osazuje na nosnou konstrukci zvenku, tj. jako vnější izolační systém. Výrobky se většinou vyrábějí a dodávají pod firemním názvem. Na trhu je celá řada výrobků, které jsou výrazně rozdílné.



Charakteristické znaky masivních dřevěných staveb:

- nosná vrstva z masivní, plošně působící desky;
- masivní podíl je nejméně 50 % uzavřené nosné vrstvy;
- plošně působící nosný systém je tvořen velkorozměrovými plošnými dílci nebo konstrukčními prvky malého formátu;
- jednovrstvé systémy spojované hřebíky nebo hmoždíky i vícevrstvé systémy slepené příčně nebo křížově nebo spojované hmoždíky;
- většinou poschodová výstavba, avšak jsou možné také průběžné stěny a zavěšené stropy;
- účinný přenos vysokých zatížení;
- vyztužení budovy se provádí plošnou nosnou konstrukcí;
- příčně nebo křížově slepené systémy jsou vysoce rozměrově stabilní;
- masivní dřevěné konstrukční prvky odebírají vlhkost ze vzduchu místnosti, vážou ji a v suchých obdobích ji opět odevzdávají;
- rozličné konstrukční systémy jsou většinou vztaženy na výrobek a změřeny podle výrobce.

Vícepodlažní masivní dřevěné stavby:

- vhodný systém pro vícepodlažní budovy;
- zejména příčně nebo křížově slepené průřezy z rostlého dřeva jsou vhodné pro vysoká zatížení;
- zvolit statický systém odolný sednutí;
- je potřebné včasné zapojení specializovaného projektanta nosné konstrukce;
- návrh budovy a konstrukční systém včas vzájemně harmonizovat.

Plné průřezy se většinou vyrábějí jako velkorozměrové plošné dílce. Podle výrobku a výrobce se rozlišuje mezi jedno nebo vícevrstvými průřezy slepenými z jednotlivých vrstev nebo křížově spojovanými hmoždíky nebo hřebíky. Jako surovina se používají lamely z jehličnatého dřeva (smrk, jedle). Alternativně k tomu mohou být velkorozměrové konstrukční prvky vytvořeny z materiálů na bázi dřeva (třískových desek, desek OSB atd.). V závodě se stěnové desky včetně

otvorů pro okna a dveře přesně spojují tak, že jsou připraveny k montáži. Také stropy lze vyrábět ve stejném systému a stejným postupem, nebo se kombinují s jinými konstrukcemi. Stupeň výroby nebo připravenost k montáži může být vzhledem ke stupni prefabrikace různý. Na staveništi se desky montují podle montážního postupu do hrubé stavby. Podle stupně vnitřní výstavby mohou být s nosnými dílci již dodávány a montovány části vnitřní výstavby.

3.4.1 Křížem vrstvené dřevo (CLT = cross laminated timber)

Křížově slepené řezivo sestává z několika křížově slepených vrstev prken. Na základě omezujícího účinku symetricky sestavených vrstev mají dílce vysokou tvarovou stálost. Výchozím produktem je smrkové nebo jedlové řezivo. Křížovým uspořádáním prken vznikají plošné nosné dílce, které mohou přenášet zatížení v obou směrech. Přitom se rozlišuje mezi hlavním nosným směrem a vedlejším nosným směrem. Pro křížové slepení řeziva do velkých desek se používá mnoho názvů a pojmů. Tyto názvy a konstrukční typy ovšem nejsou přesně definovány. Různé výrobky se proto musí jednotlivě inženýrskotechnicky posoudit a harmonizovat s příslušnou konstrukční úlohou. Běžné tloušťky desek z křížově slepeného řeziva jsou (podle výrobce) 50 až 300 mm.

3.4.2 O systému NOVATOP

NOVATOP je ucelený stavební systém z velkoformátových komponentů vyráběných z křížem vrstveného masivního dřeva (CLT).

Komponenty NOVATOP se vyrábí z vysušených smrkových lamel skládaných do vrstev, jednotlivé vrstvy jsou k sobě otočeny o 90°. Počet vrstev může být různý a určuje konečnou tloušťku panelu. Dřevo je sušeno na vlhkost cca 8 %, to zajišťuje vysokou stabilitu komponentů a zabraňuje tvorbě trhlin. Lamely se mezi sebou lepí ve všech směrech, při výrobě jsou používána nejčastěji polyuretanová lepidla, která jsou podle evropských norem schválena pro zhotovení nosných dřevěných stavebních dílů pro interiér i exteriér. Všechny panely se vyznačují vysokou pevností, stabilitou a mimořádnou statickou únosností – vytváří masivní, bezpečnou a skutečně celodřevěnou konstrukci. Vzhledem k technologii sušení a lepení vykazují tvarovou stálost i při změnách vlhkosti.

Velkou výhodou je u této technologie možnost ponechat odhalenou nosnou konstrukci jako finální řešení vnitřních povrchů. Pohledové dřevo nabízí zcela nové možnosti při utváření architektury a velmi elegantně kloubí velký podíl dřeva s moderním interiérem. Zvyšuje to sice nároky na koordinaci projektu a stavby, ale výsledek je ojedinělý.

NOVATOP se vyrábí v České republice převážně ze dřeva českých jehličnanů při dodržování přísných ekologických předpisů. Výrobní proces splňuje náročná kritéria pro celou řadu certifikací (PEFC, Natureplus, ETA...). Pro opracování komponentů se používá nejmodernější CNC zařízení, které pracuje podle CAD dat, a celý výrobní proces je kontrolován digitálně. Vše se vyrábí v České republice, systém byl vyvinut a ověřen ve Švýcarsku.

3.5 Možnosti prefabrikace

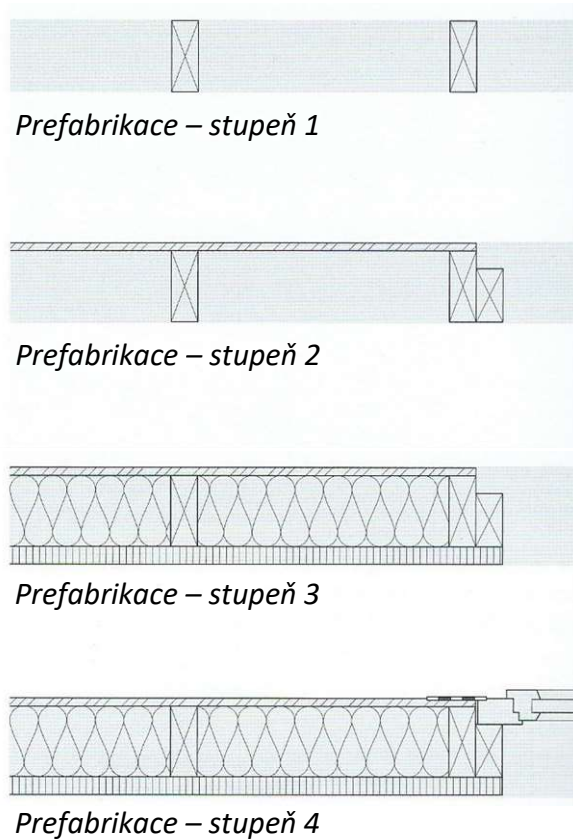
Sestavení jednotlivých částí a vrstev ve výrobní hale do celého konstrukčního prvku se označuje jako předběžná výroba nebo jako výroba v závodě.

U všech systémů dřevěných staveb se provádí prefabrikace, i když zčásti nenáročná: dřevo se podle výkresů dřevěné stavby sestavuje a většinou se již opatřuje spojovacími prostředky. Toto zhotovení výrazně redukuje pracovní čas na staveništi. Nosná konstrukce hrázdné stavby, lehkého nebo těžkého skeletu je proto na staveništi provedena za několik dnů.

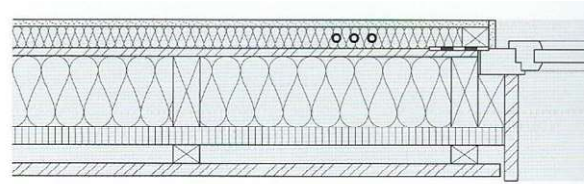
Vzhledem k možné rozsáhlejší prefabrikaci stojí v popředí tři základní systémy dřevěných staveb: lehké skelety, masivní stavby a u větších staveb těžké skelety. U lehkých skeletů s jejich lineárním přenosem zatížení mohou nosná konstrukce a kompozice prostoru s vrstvami dělicích stěn a stropu nebo pláště budovy, okny a dveřmi a také s již zčásti integrovaným technickým vybavením budovy tvořit jednotu v jednom jediném konstrukčním prvku. Tomu v protikladu stojí stavba tvořená těžkým skeletem s jejím čistým oddělením nosné konstrukce a vytváření prostoru, u které je nosná konstrukce v druhém kroku doplněna plošnými konstrukčními prvky pro stropy, stěny a střechu. Tak jako u lehkého skeletu je u těžkého skeletu k dispozici celé rozpětí od minimální prefabrikace až po kompletní integraci oken, dveří, technického vybavení budovy, fasády atd. pro nenosné konstrukční prvky vytvářející prostor.

3.5.1 Prefabrikace lehkých skeletů

Rozdílné stupně výroby nebo prefabrikace určují, v jaké hloubce výroby konstrukční prvky opustí závod a následuje montáž na staveništi. Zatímco dříve byly na staveništi dodávány volné části, dnes to jsou plošné konstrukční prvky. U těchto plošných dílců začíná první stupeň prefabrikace tím, že části nosné konstrukce a nejméně jedna plošná vrstva se předem smontují do plošného konstrukčního prvku, výškově a šířkově se formátují a přesně se připraví otvory pro dveře a okna (stupeň 2). Na třetím stupni se konstrukční prvky izolují a již se opláštějí na druhé straně. Mezistupeň tvoří vložení prázdné trubky pro technické zařízení budovy. Zabudování oken a dveří do plošných konstrukčních prvků je dalším stupněm výstavby (stupeň 4). Vysoký stupeň prefabrikace se dosáhne, když se v závodě provede i montáž fasády a obkladu fasády a popřípadě se již namontuje vnitřní obklad stěn. Jednotliví výrobci jdou dnes tak daleko, že provádějí v závodě i povrchovou úpravu. To



je možné, ale je to podmíněno dokonalou ochranou konstrukčních prvků při přepravě, montáži a až do předání díla uživateli.



Prefabrikace – stupeň 5

Jak dalece je prefabrikace v závodě výhodnější, je závislé na zadání stavby a technologii, která je k dispozici při navrhování, výrobě, přepravě a montáži. Také se musí uplatnit úvahy z hlediska znečištění nebo rizika poškození. Surové stavební prvky jsou méně náchylné vůči mechanickému poškození a také méně citlivé vůči klimatickým vlivům jako je vlhkost, déšť nebo UV záření, než konstrukční prvky s hotovou povrchovou úpravou, které vyžadují lepší ochranu. To platí také pro poškození řemeslníky při samotné montáži.

3.5.2 Prefabrikace masivních deskových panelů

U masivních deskových panelů je prefabrikace naprosto běžnou a nedílnou součástí každé stavby. Ve výrobní hale se panely nařezou na příslušný rozměr, případně se provede šikmý řez (např. u štítu), připraví se otvory pro okna a dveře, v případě stropu se připraví prostupy, dále se provede vyřezání spojů pro přeplátování a připraví se otvory pro elektrické rozvody. Vše se provádí pomocí CNC obráběcích center. Takto připravené jednotlivé panely se převážejí na nákladních automobilech na stavbu, kde se za pomoci jeřábu osazují.

Například u českého systému NOVATOP navíc přípravu této prefabrikace neprovádí běžný projektant, ale specializovaný zaměstnanec firmy. Projektant zpracuje pouze půdorysy, řezy a pohledy na jednotlivé stěny. Po provedení kontroly projektové dokumentace, případné optimalizace rozměrů pro výrobu a ujasnění detailů firma zpracuje výrobní dokumentaci a dále provede samotnou výrobu. Jednotlivé stupně plánování jsou patrné na jednom z následujících obrázků.

Obráběcí centrum CNC HUNDEGGER a jeho funkce

Maximální formát: 3 x 12,5 m

Tolerance: cca $\pm 0,5-1$ mm

Kotoučová pila: \varnothing 750, tloušťka 6,8 mm, hloubka řezu 250 mm. Pílu lze otáčet o 360° a zkosit od 0° do 90°.

Řetězová pila: Tloušťka řetězu 12 mm. Šířka lišty 200 mm. Pílu lze otáčet o 360° a zkosit od 0° do 90°. Rohy lze vytvořit přesně bez rádiusu.

Frézovací nástroje: Vertikálně shora lze vyfrézovat libovolný počet otvorů různých tvarů a vytvořit různé profily drážek a žlábků atd.

\varnothing 60 mm – stopková fréza spirálová, délka 180 mm



ø 40 mm – stopková fréza plátková, délka 180 mm
ø 30 mm – stopková fréza spirálová, délka 180 mm
ø 350 mm – válcová fréza, šířka 40 mm
ø 500 mm – válcová fréza, šířka 40 mm

Vrtáky: ø 30 mm, délka 2 000 mm (pro vrtání otvorů pro elektrické rozvody)
ø 15 mm, délka 100 mm (standardní vrtání)

Software: Cadwork CAD/CAM , Hundegger Cambium



Kotoučová pila



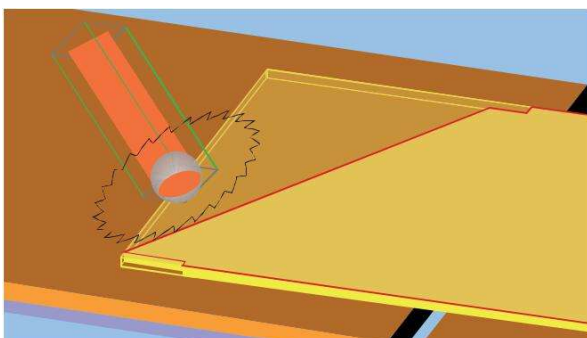
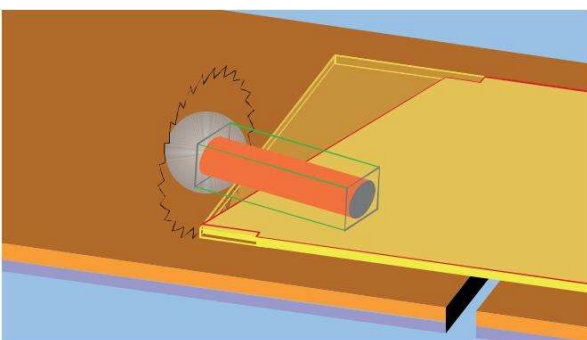
Stopková fréza

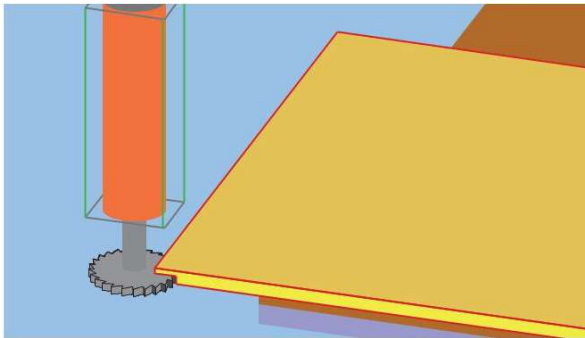
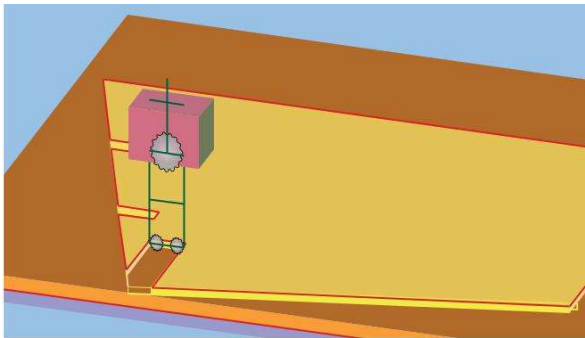


Válcová fréza



Různé frézovací nástroje





Jednotlivé nástroje a některé jejich funkce

1. Studie projektu. Pozor! již na základě studie lze provést hrubou cenovou nabídku	Potřebujeme od Vás
2. Vyplnění poptávkového formuláře (viz soubory ke stažení na www.novatop-system.cz)	Potřebujeme od Vás
3. Zpracování projektové dokumentace do systému NOVATOP (půdorys, řez, pohledy na jednotlivé stěny, stropy a střešní konstrukce). Inspirace viz podklady a katalog konstrukčních detailů. (viz soubory ke stažení www.novatop-system.cz)	Potřebujeme od Vás
4. Kontrola provedení projektové dokumentace, doporučení a případná optimalizace rozměrů pro výrobu a ujasnění detailů.	Obdržíte od nás
5. Finální projektová dokumentace	Potřebujeme od Vás
5.1. Statický posudek - ověření statiky objektu	Potřebujeme od Vás
5.2. Definování požadavků na požární odolnost (REI), zvukovou a tepelnou izolaci, pohledovou kvalitu	Potřebujeme od Vás
5.3. Stanovení předběžného postupu montáže, s tím související číslování panelů, balení a ložení na kamion.	Potřebujeme od Vás
6. Finální cenová nabídka	Obdržíte od nás
7. Výrobní dokumentace – podrobné rozkreslení a rozdělení panelů na jednotlivé části	Obdržíte od nás
8. Schválení výkresů (výrobní dokumentace) před zahájením výroby.	Potřebujeme od Vás
9. Výroba panelů	Obdržíte od nás
10. Expedice – způsob dopravy je volen podle konečných formátů jednotlivých panelů, a to s návazností na vykládku a montáž. Součástí dodávky je soupis balíků a způsob ložení na kamion.	Obdržíte od nás

4-10 týdnů

Stupně plánování dle podkladů výrobce NOVATOP

4 Vybrané konstrukční a technické problémy

4.1 Spřažené dřevobetonové stropy (pomocí VB vrutů SFS Intec)

Dřevobetonové konstrukce se stále více prosazují i na našich stavbách. Technologie spřažení dřeva s monolitickým železobetonem prostřednictvím vrutů VB (německy Verbund) se používá zejména ve Švýcarsku, v Německu a v Rakousku již od roku 1998. Ve vícepodlažních dřevostavbách se v budoucnu budou uplatňovat především ze třech důvodů: zvyšují prostorovou tuhost objektu (v rovině stropu vzniká tuhá deska), zlepšují akustické vlastnosti stropu a zvyšují požární odolnost stropu.



Tuto technologii lze využít jak při moderním způsobu stavění novostaveb z prefabrikovaných deskových materiálů na bázi dřeva, tak i u rekonstrukcí dřevěných trémových stropů u historicky cenných budov. Spřažení dřeva s betonem se ukazuje jako velice výhodné, neboť dřevěné stropy zůstanou neporušené a jsou pouze zesíleny přidanou vrstvou železobetonové desky. U rekonstrukcí je důležitý dobrý stav dřevěných nosníků bez většího biologického poškození a případná výměna všech znehodnocených částí.



Výhody spřažení:

- univerzální řešení pro novostavby i rekonstrukce
- možnost vyššího statického zatížení stávajícího dřevěného stropu
- minimální zásah do konstrukce a přiměřeně krátká doba výstavby
- výhodná kombinace předností materiálů železobetonu a dřeva
- vysoká únosnost při malé výšce železobetonu (doporučeno 8 cm, minimálně 6 cm)
- zaručený statický návrh spřažení dřeva s betonem včetně kladečského plánu
- statický návrh vrutů přesně odpovídá uvažovanému průběhu zatížení
- jednoduchá montáž vrutů VB bitem V40 (vnější TORX®) bez předvrtávání
- zašroubováním vrutu do dřevěného trámu pod úhlem 45 stupňů je zajištěn univerzální přenos tlakových i tahových sil mezi železobetonem a dřevem navzájem
- zvýšená odolnost proti přenosu hluku a spolehlivý akustický útlum (kročejový útlum)
- zvýšená požární odolnost dřevěného stropu
- celkové prodloužení životnosti a spolehlivosti dřevěného stropu

Nevýhody spřažení:

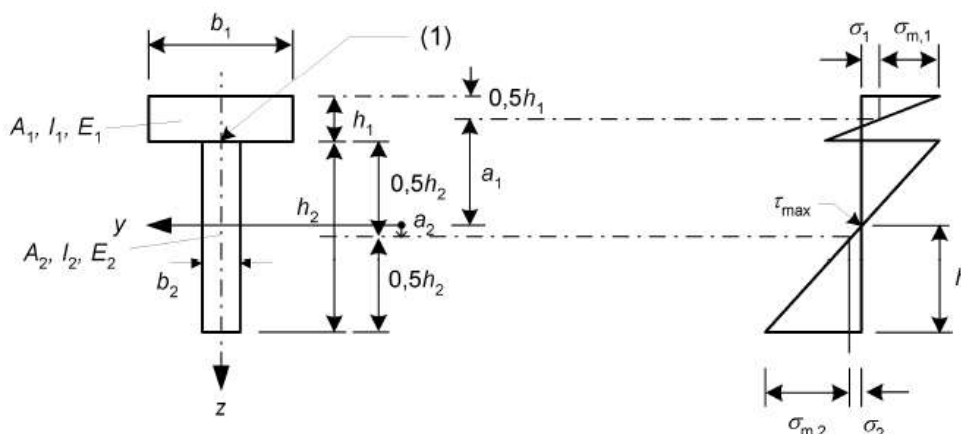
- mokřý proces na stavbě
- technologická přestávka pro částečné vyztvácení betonu (zpravidla jeden týden)
- vyšší cena

4.1.1 Návrh spřaženého dřevobetonového stropu

Při návrhu spřaženého dřevobetonového stropu existuje několik možností. První možností je použití softwaru přímo od výrobce. Ten je volně dostupný na internetových stránkách SFS Intec a jmenuje se HBV (Holz Beton Verbundsystem). Problémem je, že tento výpočet slouží pouze pro návrh a rozhodně nemůže nahradit závazný statický výpočet. Dalším problémem je, že z programu lze vytisknout pouze výstup s počtem a vzdáleností vrutů a výsledná napětí. Dozvíme se jen, že spřažení je počítáno podle Eurokódu 5, hodnoty, které do výpočtu vstupují, se bohužel nikde dohledat nedají.

Další možností je provést výpočet přímo podle Eurokódu 5 (kap. 10 Mechanicky spojované nosníky) a strop posoudit jako T-průřez. To je možné za následujících předpokladů:

- nosníky jsou prostě podepřeny a mají rozpětí ℓ . Pro spojitě nosníky mohou být vztahy použity s ℓ rovnajícím se 0,8 násobku příslušného rozpětí a pro konzolové nosníky s ℓ rovnajícím se dvojnásobku délky konzoly;
- jednotlivé části (dřeva, desek na bázi dřeva) jsou po délce buď z jednoho kusu, nebo nastaveny lepenými spoji;
- jednotlivé části jsou navzájem spojeny mechanickými spojovacími prostředky s modulem prokluzu K ;
- rozteč s mezi spojovacími prostředky je konstantní nebo se stejnoměrně mění podle posouvající síly mezi s_{\min} a s_{\max} , kdy $s_{\max} \leq 4 s_{\min}$;
- zatížení působí ve směru osy z a vyvoluje moment $M = M(x)$ s průběhem ve tvaru sinusoidy nebo paraboly a posouvající sílu $V = V(x)$.



(1) Rozteč: s_1 Modul prokluzu: K_1 Zatížení: F_1

T-průřez (geometrie, průřezové charakteristiky) a průběh normálového napětí

Modul prokluzu K_1 vypočteme jako $2/3K_{ser}$, vzorec pro výpočet K_{ser} najdeme v Eurokódu 5 (kap. 7 Mezní stavy použitelnosti). Do výpočtu vstupuje průměr spojovacího prostředku a hustota dřeva. Stanovení tohoto modulu je jednou z nejtěžejnějších částí celého výpočtu – „Pro spoje ocel-dřevo nebo beton-dřevo, K_{ser} se má stanovit pomocí p_m pro dřevěný prvek a může se násobit 2,0“ (citováno z Eurokódu 5). Z toho vyplývá, že K_{ser} může nabývat různých hodnot a jeho hodnota velmi výrazně ovlivňuje výsledná napětí. Dalším problémem je, že tento výpočet je platný pouze pro běžné spojovací prostředky (kolíky, hmoždíky, vruty, hřebíky, sponky). Pro speciální spřahovací VB vruty bude zřejmě K_{ser} určeno experimentálně.

Dále vypočítáme účinnou ohybovou tuhost (do výpočtu vstupuje modul prokluzu K_1 , vzdálenost vrutů, počet řad, materiálové charakteristiky, průřezové veličiny a geometrie průřezu). Pomocí vzorců pak vypočteme napětí ve dřevě (na dolním okraji a ve středu výšky trámu) a napětí v betonu při horním povrchu.

Ve statickém výpočtu uvádím hodnoty vypočtené pomocí vlastního programu v MS Excel, pro porovnání je zařazen i protokol z programu HBV SFS Intec. Pomocí programu HBV SFS Intec vychází nepříznivější hodnoty (při stejném zatížení a stejném rozmístění spojovacích prostředků jsou výsledná napětí cca 1,5 krát větší). To bude zřejmě z důvodu, aby byl návrh pomocí programu od výrobce na straně bezpečnosti.

4.2 Otláčení spodního prahu sloupkové konstrukce

Otláčení spodního prahu sloupkové konstrukce je jedním z velkých problémů a omezení u vícepodlažních lehkých skeletů. Jak je patrné ze statického výpočtu, při třech podlažích dřevostavby, průřezu (80/140 mm) a běžném zatížení pro daný typ stavby (mírně zvětšeno díky spřaženým dřevobetonovým stropům) je využití spodního prahu rovno 99%. Dalším faktem je, že výpočet nezahrnuje vliv opláštění, které by zřejmě část síly přenášelo. Při větším zatížení by pravděpodobně došlo k velkému sedání stavby a popraskání obvodového pláště (vodorovné praskliny viditelné na omítce). Při více podlažích by tento problém vyžadoval jiné řešení, např. v kritických místech zdvojit sloupky (zvětší se efektivní plocha a zmenší se síla), navrhnout nezávislý samostatný obvodový plášť, apod.

4.3 Navrhování masivních deskových dílců – CLT panelů

S navrhováním CLT panelů je problém ještě o něco větší, než se spřaženými dřevobetonovými stropy. Zatím pro ně totiž neexistuje žádná výpočtová norma, existuje pouze norma materiálová. Při návrhu tedy můžeme postupovat pouze podle tabulek pro předběžné navrhování (v případě užití českého systému NOVATOP). Pro návrh stropních panelů (NOVATOP ELEMENT) dokonce existuje i jednoduchý program, který je volně ke stažení na stránkách výrobce. Tabulky ani program ovšem neslouží jako závazný statický výpočet.

Další možností je použití programu CLT Designer. Zde je možné provést výpočet podrobněji – nastavit si počet jednotlivých lamel, jejich tloušťku, orientaci, apod. Zároveň má program v databázi některé již normalizované produkty. Výsledky vypočtené v tomto programu se mírně liší od výsledků v uvedených tabulkách NOVATOPu. To je dáno tím, že program může používat trochu jiné materiálové charakteristiky a také tím, že tabulky ze strany výrobce budou na straně bezpečnosti. I tento program má ovšem dvě nevýhody – není v češtině, je jen v němčině nebo angličtině a výstup z něj opět neslouží jako závazný statický výpočet.

Stěny a strop je dále možné alespoň jednoduše posoudit - stěny upraveným vzorcem na vzpěr a ohyb a stropní elementy na ohyb, smyk (I. mezní stav) a průhyb (II. mezní stav). Obtížně se ale určují některé důležité materiálové a průřezové charakteristiky (efektivní moment setrvačnosti I_{eff} , relační modul E_v , statický moment k těžišti $S_{1,}$, apod.).

Ve statickém výpočtu je tedy pouze vypočtené zatížení CLT panelů a z tabulek pro předběžný návrh vybrán vyhovující panel. Dále jsou k výpočtu přiloženy datové listy a mechanické vlastnosti jednotlivých panelů.

4.4 Tepelná technika

Velmi důležitou součástí návrhu moderní dřevostavby je také správný návrh skladeb stěn za účelem dosažení co největšího tepelného odporu R [m^2K/W], potažmo co nejmenšího součinitele prostupu tepla U [W/m^2K]. Požadované a doporučené hodnoty U_N jsou stanoveny normou. Skladby vnějších obvodových stěn (lehký skelet i CLT) jsem posoudil v programu Teplo 2014 a výsledky jsou následující:

lehký skelet: $U = 0,152 W/m^2K < U_{DOP} = 0,2 W/m^2K < U_{DOP} = 0,3 W/m^2K$

CLT: $U = 0,154 W/m^2K < U_{DOP} = 0,2 W/m^2K < U_{DOP} = 0,3 W/m^2K$

U obou konstrukcí je splněn také požadavek na šíření vlhkosti konstrukcí. Vše je patrné z příložených vyhodnocení z programu TEPLO 2014.

Lehký skelet:

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

Název konstrukce: BAP_STĚNA_SKELET

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T_i : 20,0 C
 Převažující návrhová vnitřní teplota T_{iM} : 20,0 C
 Návrhová venkovní teplota T_{ae} : -13,0 C
 Teplota na vnější straně T_e : -13,0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20,6 C
 Relativní vlhkost v interiéru RH_i: 50,0 % (+5,0%)

Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Fermacell	0,015	0,320	13,0
2	Uzavřená vzduch. dutina tl. 50	0,040	0,294	0,2
3	OSB3	0,022	0,130	107,0
4	KVH+ISOVER UNI	0,140	0,052	5,0
5	OSB3	0,015	0,130	219,0
6	Isover Multimax 30	0,100	0,030	1,0
7	Omítka ETICS silikátová	0,005	0,800	50,0

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,751$

Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi,m} = 0,963$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota $f_{Rsi,m}$ (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $U_N = 0,30 W/m^2K$

Vypočtená hodnota: $U = 0,152 W/m^2K$

$U < U_N$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokví v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,1 kg/m^2.rok$,

nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,240 kg/m²,rok
(materiál: Isover Multimax 30).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m²,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a} = 0,0030 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$

Roční množství odpařitelné vodní páry $M_{ev,a} = 7,5479 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

CLT:

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

Název konstrukce: BAP_STĚNA_CLT

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T_i : 20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota T_{iM} : 20,0 C
Návrhová venkovní teplota T_{ae} : -13,0 C
Teplota na vnější straně T_e : -13,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20,6 C
Relativní vlhkost v interiéru RH_i: 50,0 % (+5,0%)

Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Fermacell	0,015	0,320	13,0
2	Uzavřená vzduch. dutina tl. 50	0,040	0,294	0,2
3	CLT panel NOVATOP SOLID	0,124	0,130	157,0
4	Isover Multimax 30	0,160	0,030	1,0
5	Omítka ETICS silikátová	0,005	0,800	50,0

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,751$

Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi,m} = 0,963$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota $f_{Rsi,m}$ (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $U_{N} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota: $U = 0,154 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U_N$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

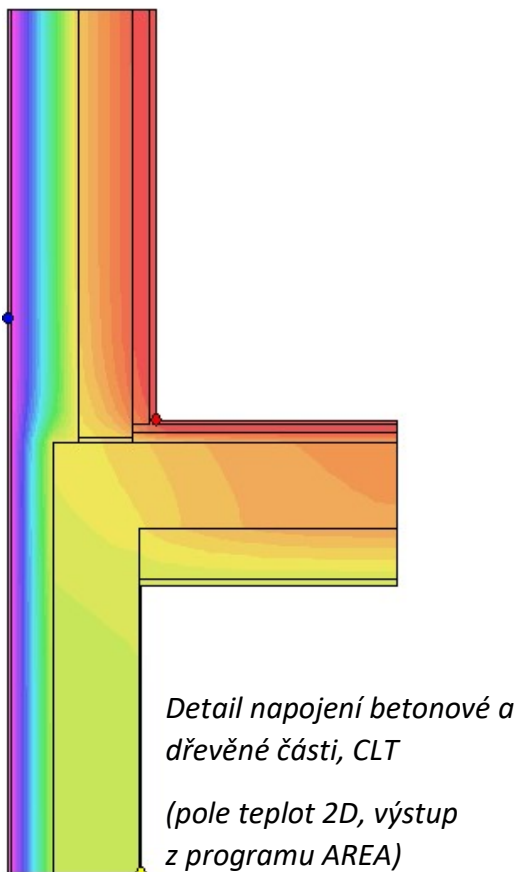
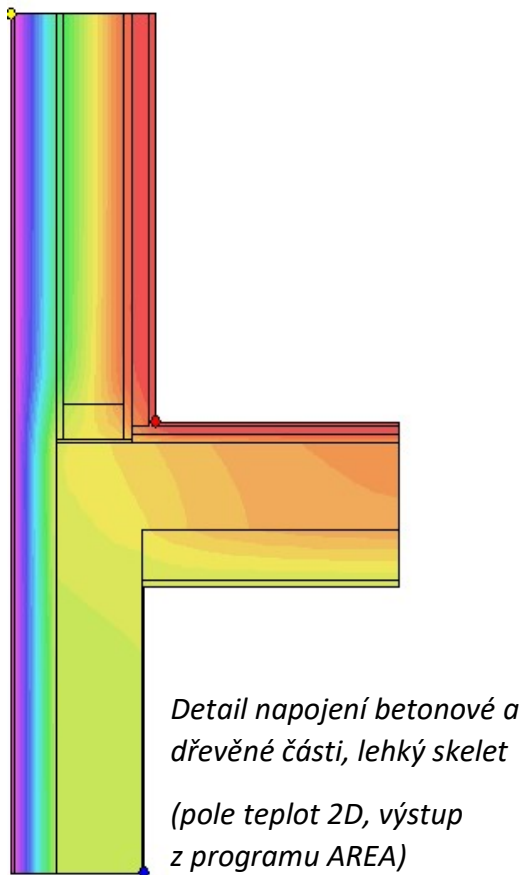
Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,1 kg/m²,rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V kci nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

Kromě správného návrhu skladeb je také důležité správně vyřešit problematické detaily, aby nevznikaly takzvané tepelné vazby. Pro porovnání obou konstrukčních systémů jsem zpracoval detail napojení betonové a dřevěné části obou systémů v programu AREA 2014.



LEGENDA:

BAP_NAPOJENI DRE...

Teplotní pole [C]:

14.8 ... 11.3
11.3 ... 7.7
7.7 ... 4.2
4.2 ... 0.7
0.7 ... 2.8
2.8 ... 6.3
6.3 ... 9.8
9.8 ... 13.3
13.3 ... 16.9
16.9 ... 20.4

- T_{si}=19,56 C; fR_{si}=0,971
- T_{si}=9,70 C; fR_{si}=0,988
- T_{si}=-14,76 C; fR_{si}=---

Kontrola zadání

Izotermie a teplotní faktor

Orientace tepelných toků

Pole teplot 2D

Pole teplot 3D

Relativní vlhkosti

Oblast kondenzace

Roční bilance vlhkosti

LEGENDA:

BAP_NAPOJENI DRE...

Teplotní pole [C]:

14.8 ... 11,2
11,2 ... 7,7
7,7 ... 4,2
4,2 ... 0,7
0,7 ... 2,8
2,8 ... 6,3
6,3 ... 9,8
9,8 ... 13,3
13,3 ... 16,8
16,8 ... 20,4

- T_{si}=19,62 C; fR_{si}=0,972
- T_{si}=-14,76 C; fR_{si}=---
- T_{si}=9,70 C; fR_{si}=0,988

Kontrola zadání

Izotermie a teplotní faktor

Orientace tepelných toků

Pole teplot 2D

Pole teplot 3D

Relativní vlhkosti

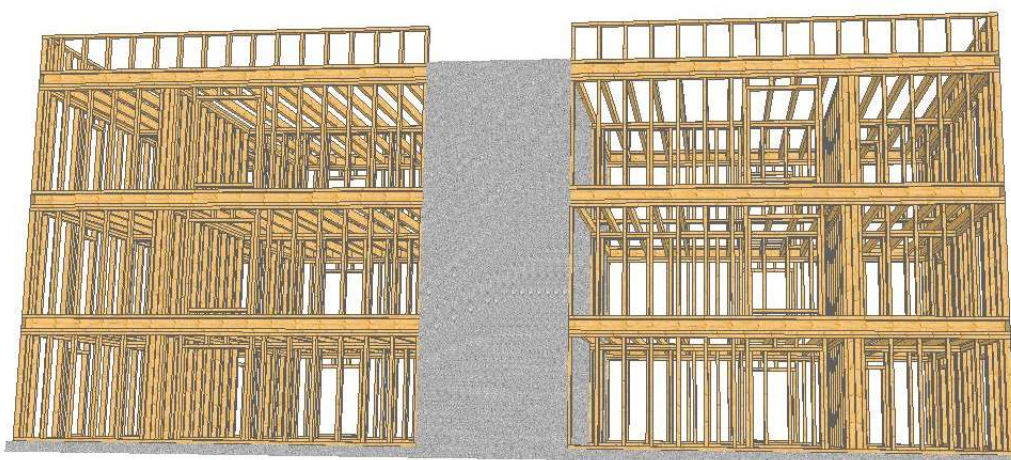
Oblast kondenzace

Roční bilance vlhkosti

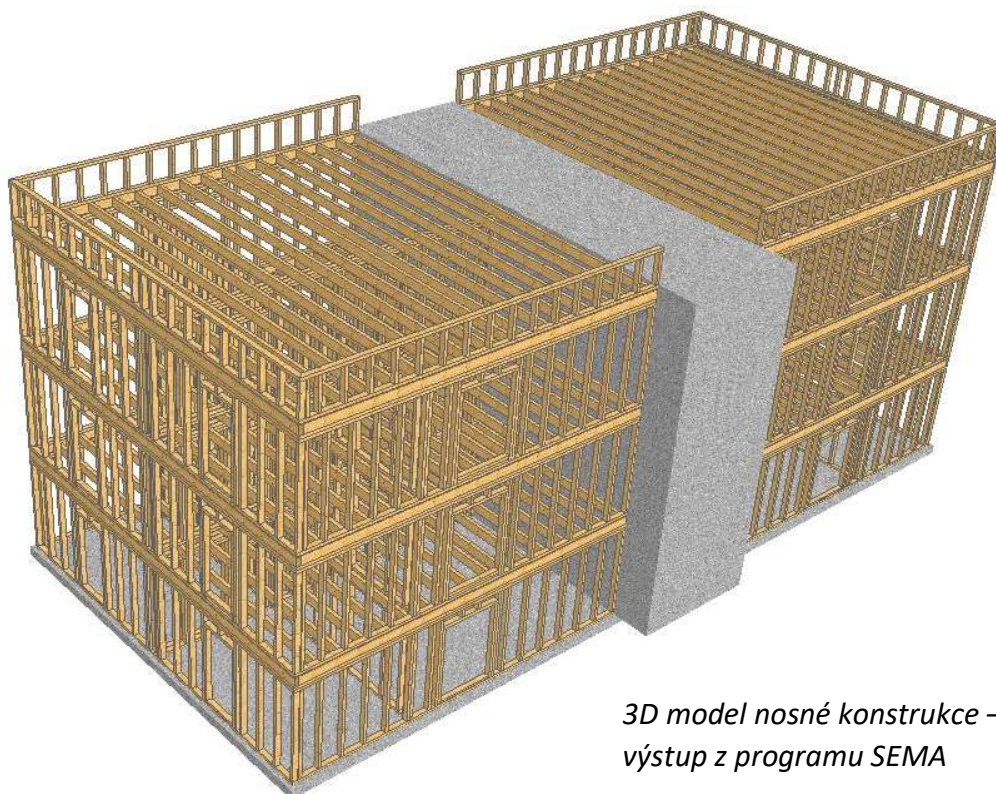
Jak je patrné z předchozích obrázků, oba konstrukční systémy vycházejí přibližně stejně. Prostor 1.NP je nevytápěný, pro posudek není důležitý. Nejnižší povrchová teplota vychází v 2.NP u skeletu 19,56°C, u CLT 19,62°C. Vzhledem k tomu, že návrhová teplota v místnosti je 20,6 °C a že povrchové teploty na stěnách jsou 20,4 °C, je tento výsledek příznivý.

4.5 Skelet - 3D model, výkaz řeziva, doba výroby, cenová kalkulace

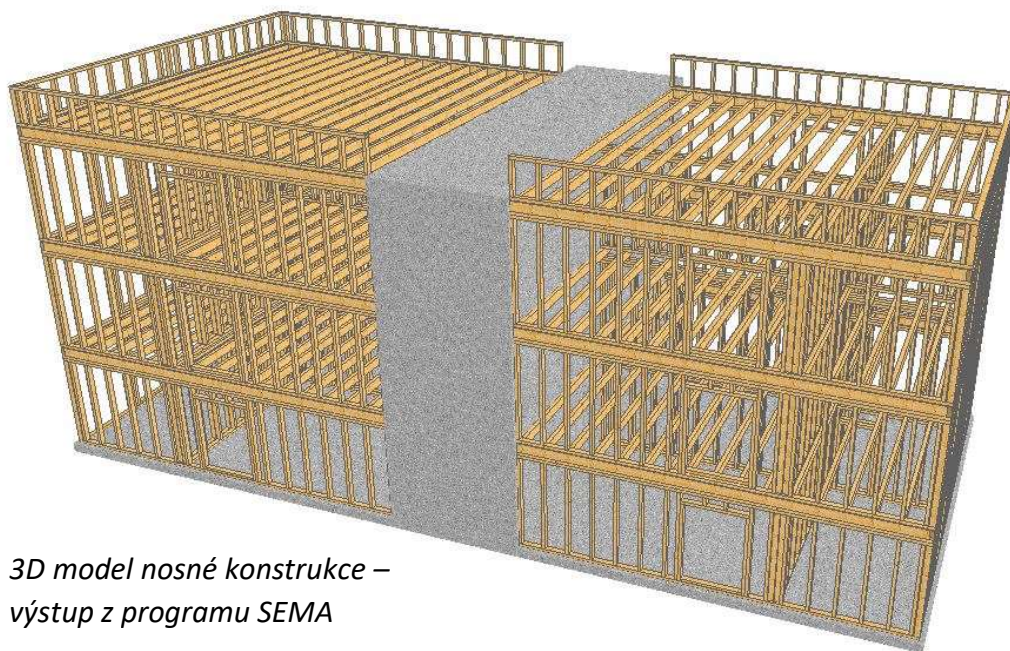
Pro zjištění dalších podrobností k realizaci lehké skeletové konstrukce jsem zpracoval model v programu SEMA 3D. Z výpisů z programu lze získat celkový objem řeziva, dále výpis jednotlivých prvků, jejich průřezů a délek a také je možno udělat výstup pro dřevoobráběcí CNC centra. Z programu EKP (ovládací program k obráběcímu centru K2i – Hundegger) lze pak zjistit celkový čas potřebný pro výrobu sloupkové konstrukce).



3D model nosné konstrukce – výstup z programu SEMA



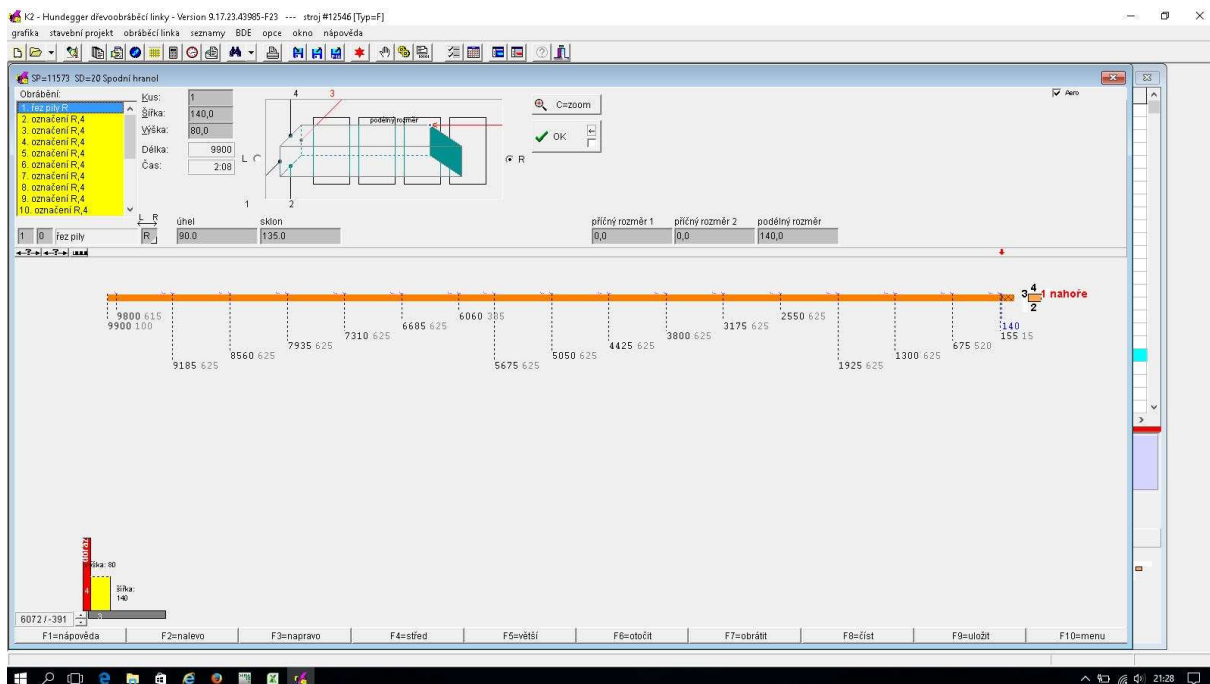
*3D model nosné konstrukce –
výstup z programu SEMA*



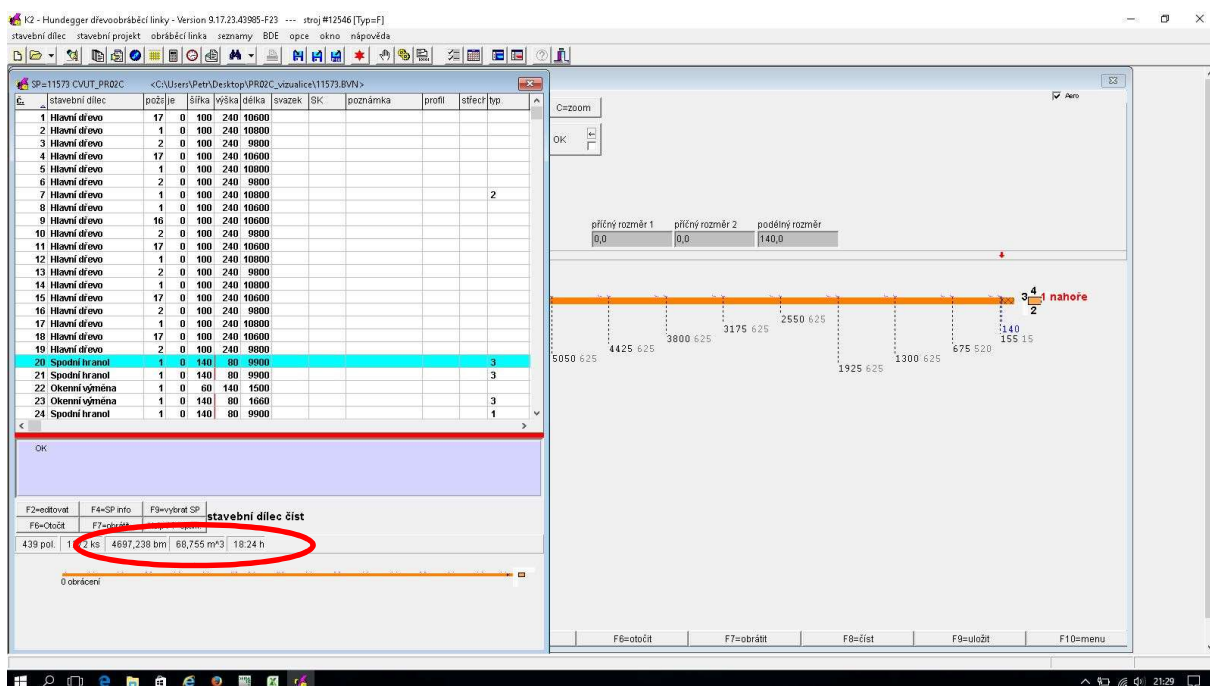
3D model nosné konstrukce –
výstup z programu SEMA

Výpis materiálů (s nadmírou) – program MS Excel, generováno z programu SEMA 3D

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	KS	Označení	TřŘ	Šířka	Výška	Délka	CelkL	CelkovýO
2	4	Okenní výměna		0,06	0,14	1,1	4,4	0,037
3	4	Okenní výměna		0,06	0,14	1,6	6,4	0,054
4	36	Sloupek		0,08	0,14	0,3	10,8	0,121
5	106	Sloupek		0,08	0,14	0,9	95,4	1,068
6	6	Okenní výměna		0,08	0,14	1,1	6,6	0,074
7	8	Okenní výměna		0,08	0,14	1,1	8,8	0,099
8	12	Okenní výměna		0,08	0,14	1,1	13,2	0,148
9	12	Okenní výměna		0,08	0,14	1,3	15,6	0,175
10	8	Okenní výměna		0,08	0,14	1,6	12,8	0,143
11	12	Okenní výměna		0,08	0,14	1,8	21,6	0,242
12	8	Sloupek		0,08	0,14	2,1	16,8	0,188
13	4	Sloupek		0,08	0,14	2,1	8,4	0,094
14	23	Sloupek		0,08	0,14	2,1	48,3	0,541
15	16	Sloupek		0,08	0,14	2,3	36,8	0,412
16	32	Sloupek		0,08	0,14	2,3	73,6	0,824
17	239	Sloupek		0,08	0,14	2,6	621,4	6,96
18	466	Sloupek		0,08	0,14	2,6	1211,6	13,57
19	36	Spodní hranol		0,08	0,14	5,2	187,2	2,097
20	18	Spodní hranol		0,08	0,14	5,2	93,6	1,048
21	36	Spodní hranol		0,08	0,14	9,8	352,8	3,951
22	44	Spodní hranol		0,08	0,14	10	440	4,928
23	22	Spodní hranol		0,08	0,14	10,9	239,8	2,686
24	12	Hlavní dřevo		0,1	0,24	9,9	118,8	2,851
25	102	Hlavní dřevo		0,1	0,24	10,7	1091,4	26,194
26	6	Hlavní dřevo		0,1	0,24	10,9	65,4	1,57
27								70,075



Program EKP – snímek 1



Program EKP – snímek 2

Výpis pro pilu vytvoří program sám, i s nadmírou. Jak je patrné, celkový objem řeziva pro tento bytový dům je 70,075 m³. Při ceně KVH hranolů - 10 000 Kč/m³ (při větším odběru a použití běžných průřezů je tato cena poměrně reálná) by konstrukční hranoly potřebné pro stavbu bytového domu stály cca 700 000 Kč (bez DPH). Na dalších snímcích je ukázka programu EKP. Na prvním z nich je základový práh včetně podrobností jednotlivých opracování generovaných pro CNC centrum. Na druhém snímku je celá úloha včetně celkového počtu dílců, celkové kubatury a celkového času potřebného pro výrobu. Projekt má 1272 dílců, celková kubatura

je nyní 68,755 m³ (nadmíry tvořily zhruba 2,5 m³) a celkový čas potřebný pro výrobu je 18 hodin a 24 minut. Tento čas je ovšem čistý čas výroby na stroji. Celkový čas potřebný k výrobě včetně přípravy řeziva, logistiky balení a úklidu pracoviště je zhruba dvojnásobný, tedy 36 pracovních hodin. Cena za opracování je asi 3 000 Kč/m³. Tato cena je ale opravdu pouze orientační, velmi záleží na náročnosti opracování (poměr celkového objemu řeziva k celkovému času výroby). Při ceně 3 000 Kč/m³ by tedy opracování stálo 210 000 Kč (bez DPH). Prvky jsou již v programu SEMA očíslovány a přiřazeny do jednotlivých stěn. Číslo je zachováno i v programu EKP a balení probíhá tak, aby jeden balík obsahoval vždy dílce jedné stěny.

5 Závěr

V České republice je hlavním omezením vícepodlažních budov požární norma. Z hlediska výšky je budova s nosnou konstrukcí na bázi dřeva legislativně limitována 12 metry (počítáno od prvního podlaží po podlahu posledního podlaží). Pokud bychom české normy sladili se zkušenostmi ze zahraničí, mohli bychom více využívat přírodních materiálů také u nás. Umožnilo by nám to realizovat mnohem větší výšky budov, než jsme zvyklí doposud. Další obecně známá omezení daná současným stavebním zákonem nejsou tolik stěžejní.

V současné době se spíše můžeme podívat do světa. Velký rozvoj vícepodlažních dřevostaveb zažívá Skandinávie, západní Evropa, Kanada a také Austrálie. Rozvoj největších dřevěných staveb ve světě se ubírá momentálně směrem rozvoje technologií umožňujících větší výšku, což vede často ke konceptům uvedeným v bakalářské práci. Konceptem budoucnosti je také kombinace těžkého skeletu a masivních CLT panelů, která byla představena i na letošním veletrhu Dřevostavby v Praze českou firmou Domesi a která mě mimo jiné inspirovala k tvorbě této práce a zamyšlením nad dalšími možnostmi konstrukcí vícepodlažních dřevostaveb.

6 Seznam použité literatury

- [1] Kuklík: Dřevěné konstrukce, ČVUT Praha
- [2] Kuklík, Kuklíková, Mikeš: Dřevěné konstrukce 1, Cvičení, ČVUT Praha
- [3] Studnička, Holický: Ocelové konstrukce 20 – Zatížení staveb, ČVUT Praha
- [4] http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf
- [5] ČSN EN 1995-1-1
- [6] KOLB, Josef. *Dřevostavby. Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Přel. B. Koželouh. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2008. 320 s. ISBN978-80-247-2275-7
- [7] <https://www.drevostavitel.cz/clanek/6-duvodu-pro-kvh-hranoly>
- [8] http://www.novatop-system.cz/wp-content/uploads/CZ_podklady_pro_projektovani_navod.pdf
- [9] http://www.novatop-system.cz/wp-content/uploads/CZ_moznosti_obrabeni_cenikove_polozky.pdf
- [10]] <http://www.novatop-system.cz/novatop-download/novatop-solid-pro-steny/?v=63583>
- [11] <http://www.novatop-system.cz/novatop-download/novatop-element-pro-stropy-a-strechy/?v=63585>
- [12] <https://www.novinky.cz/cestovani/401898-v-londyne-postavi-mrakodrap-ze-dreva.html>
- [13] [https://sfsintec.biz/internet/sfsmedien.nsf/4F99C3264DFE56E9C1257BDC004004E5/\\$FILE/Drevobeton-rocenka_Drevospecial_2013.pdf](https://sfsintec.biz/internet/sfsmedien.nsf/4F99C3264DFE56E9C1257BDC004004E5/$FILE/Drevobeton-rocenka_Drevospecial_2013.pdf)