ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Problematika více podlažních dřevostaveb

Antonín Tomeček

2019

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Procházka, PhD.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze 6.1.2019 ……..

Bc. Antonín Tomeček

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Michalu Procházkovi, Ph.D. za odborné konzultace a rady v průběhu zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu RNDr. Viktoru Třebickému ze společnosti CI2, o.p.s za jeho odborné rady v oblasti posuzování a výpočtu environmentálního dopadu. Dále bych chtěl poděkovat pánům Ing. Zdeňkovi Černoškovu a Lukáši Sodomkovi ze společnosti Saint Gobain-divize Rigips, a.s. za jejich konzultace ohledně výrobků Rigips a celého koncernu. Poděkovat bych chtěl také svému bratrovi Ing. Karlu Tomečkovi, který mě na téma této práce přivedl a poskytl odborné rady v ekonomickém posouzení. V neposlední řadě chci poděkovat své přítelkyni Merve Öztoprak, MSc., která mi pomohla s korekturami v této práci.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Tomeček Jméno: Antonín Osobní číslo: 423726

Zadávající katedra: K122 Technologie staveb

Studijní program: (N3607) Stavební inženýrství

Studijní obor: (3607T045) Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Problematika vícepodlažních dřevostaveb

Název diplomové práce anglicky: Problematics of multi-storey wooden structures

Pokyny pro vypracování:
Rešerše současných technologií dřevostaveb.
Zmaměřit se na specifika využití technologie dřevěného prefabrikovaného panelu pro výstavbu vícepodlažních budov.
Porovnání technologie dřevěných panelů s konveční skladbou nosných konstrukcí z hlediska ekonomického a enviromentálního dopadu s dodržením stavebních norem ČSN.
Diskuze výsledků a doporučení dalších postupů.

Seznam doporučené literatury:
KOLB Josef: Dřevostavby, Grada Publishing 2011
Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 – STEP 1 – Navrhování a konstrukční materiály. Český překlad evropské učebnice, Bohumil Koželouh, 1999
Moderner Holzhausbau in Fertigbeweise. Verlag BDF, WEKA Media, 2001
Atlas Mehrgeschossiger Holzbau: DETAIL Atlas, 2017
Holzbau - Raummodule (DETAIL Praxis), 2018

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Procházka, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 24.9.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020
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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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".

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Anotace

Diplomová práce srovnává ekonomické a environmentální výhody a nevýhody vícepodlažních dřevěných budov ve srovnání s běžnými stavebními materiály. Posouzení je založeno na důkladném přezkoumání dřevěných stavebních systémů a na podrobném popisu technologie prefabrikovaných dřevěných panelů. Vzhledem k problému udržitelnosti ve stavebnictví je třeba zavést alternativní metody, které jsou ekonomicky proveditelné. Dřevěné rámové panely a panely CLT jsou představeny jako možné alternativy k masivním vícepodlažním budovám. Environmentální ukazatele a náklady se vypočítávají a porovnávají konvenční skladby a dřevěné rámové panely na metr čtvereční. Tyto ukazatele jsou škálovány na celý objem budovy modelu, kde se také bere v úvahu logistika a doba realizace. Tam, kde to připadalo v úvahu, byl navíc zvážen recyklační potenciál stavebních materiálů. Výsledky této studie ukazují, že dřevěné konstrukce poskytují ekonomickou výhodu díky kratší době provádění, vyššímu recyklačnímu potenciálu a celkově nižšímu dopadu na životní prostředí na základě zvažovaných ukazatelů. Vzhledem k omezené dostupnosti spolehlivých údajů a velké rozmanitosti stavebních materiálů vyžaduje přesvědčivé posouzení masivních staveb oproti dřevostavbám, o které se v tato studie pokouší, další výzkum.

Klíčová slova:

Dřevostavba, environmentální dopad, recyklace, trvale udržitelný rozvoj, ekonomika, prefabrikace

Annotation

The diploma thesis comparatively assesses economic and environmental advantages and disadvantages of multi-storey wooden buildings compared to common building materials. The assessment is based on a thorough review of wooden building construction systems and a detailed description of prefabricated wooden panel technology. Given the sustainability problem in the building industry alternative methods have to be established that are feasible economically. Wooden frame panels and CLT panels are introduced as possible alternatives to massive multi-story buildings. Environmental indicators and costs are calculated and compared across different massive building materials and wooden panels per square meter. These indicators are scaled to the entire volume of the model building where logistics and execution time are also considered. Additionally, recycling potential of construction materials was considered where applicable. Results of this study show that wooden constructions provide an economic advantage due to lower execution time, higher recycling potential, and overall lower environmental impact based on considered indicators. Given the limited availability of reliable data on the large variety of building materials a conclusive assessment of massive constructions versus wooden buildings attempted in this study requires further research.

Key words:

Wooden building, environmental impact, recycling, sustainable development, economics, prefabrication

Obsah

Slovník pojmů 9

1. ÚVOD 10

2. Cíle práce 10

3. Teoretická část 12

3.1 Technologie dřevostaveb 12

3.1.1 Historie dřevostaveb 12
3.1.2 Typy dřevostaveb 13
3.1.3 Současná praxe ve statistikách 16
3.1.4 Ochrana dřeva 18
3.1.5 Prefabrikace 20
3.1.6 Chyby v návrhu a provedení 23

3.2 Technické požadavky 26

3.2.1 Řešení akustických požadavků 26
3.2.2 Tepelně-technické požadavky 34
3.2.3 Protipožární požadavky 43
3.2.4 Statické požadavky 45

3.3 Environmentální dopad 49

3.3.1 Teorie trvale udržitelného rozvoje 49
3.3.2 Veličiny pro popis environmentální dopadu 51
3.3.3 Certifikace 52

3.4 Recyklace, skládkování a spalování 53

3.5 Ekonomika dřevostaveb 57

3.5.1 Pohled dodavatelů staveb 57
3.5.2 Pohled developera a finančníků 58
3.5.3 Pohled malých stavebníků 59

4. Metody 60

4.1 Tvorba modelu 60

4.2 Návrh konstrukcí a normativní požadavky 61

4.3 Výpočet environmentálního dopadu 61

4.4 Možnosti recyklace a dalšího využití 64

4.5 Výpočet ekonomiky dřevostaveb 66

5. Praktická část 68

5.1 Referenční budova a model pro výpočet 68
5.2 Návrh konstrukcí lehkých rámových panelů a trámového stropu 69
5.1.1 Obvodová stěna....69
5.1.2 Mezi bytová stěna....70
5.1.3 Nosná/Dělící vnitřní stěna....72
5.1.4 Stropní konstrukce....73
5.3 Porovnání environmentálního dopadu....74
5.3.1 Porovnání spotřeby primární energie....74
5.3.2 Porovnání potenciálu globálního oteplování....75
5.3.3 Porovnání potenciálu okyselování prostředí....78
5.3.4 Porovnání potenciálu ničení ozonové vrstvy....78
5.3.5 Porovnání potenciálu tvorby přízemního ozónu....79
5.3.6 Porovnání potenciálu eutrofizace prostředí....80
5.4 Porovnání možností recyklace, opětovného využití....81
5.4.1 Vliv recyklace na svázanou energii....82
5.4.2 Vliv recyklace na potenciál globálního oteplování....83
5.4.3 Vliv recyklace na potenciál okyselování prostředí....84
5.4.4 Vliv recyklace na potenciál ničení ozónové vrstvy....85
5.4.5 Vliv recyklace na potenciál tvorby přízemního ozónu....86
5.4.6 Vliv recyklace na potenciál eutrofizace prostředí....87
5.5 Porovnání z ekonomického hlediska....88
5.6 Rekapitulace dat....90
6. Diskuze výsledků, kvality dat a výpočtu....93
6.1 Diskuze výpočetního modelu....93
6.2 Diskuze navržených skladeb dřevostavby....94
6.3 Diskuze porovnání environmentálního dopadu....95
6.4 Diskuze porovnání potenciálu recyklace....97
6.5 Diskuze ekonomického porovnání....98
7. Doporučení pro další postup a vývoj....99
8. Závěr....100
9. Literatura....101
Seznam obrázků....107
Seznam tabulek....109

Seznam grafů 110
Seznam příloh 110

Slovník pojmů

AP	Adcidification Potencial, potenciál acidifikace prostředí
BIM	Building Information Modeling, informační model budovy
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
B2B	Business to Business, obchodník k obchodníkovi
B2C	Business to Customer, obchodník ke klientovi
C2C	Cradle to Cradle, od kolébky do kolébky
C2G	Cradle to Grave, od kolébky do hrobu
CLT	Cross Laminated Timber, křížem lepené dřevo
EP	Eutrophication Potencial, potenciál eutrofizace prostředí
EPD	Environamental Product Decalaration, environmentální posouzení produktu
GWP	Global Warming Potencial, potenciál globálního oteplování
HSV	Hlavní stavební výroba
LCA	Life Cycle Assesment, posouzení životního cyklu
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
ODP	Ozone Depletion Potencial, potenciál ničení ozónové vrstvy
PEI	Primary Energy Input, spotřeba primární energie
POCP	Photochemical Ozone Creation Potencial, potenciál tvorby přírodního ozonu

1. ÚVOD

Dřevo bylo v minulosti základním stavebním prvkem, díky své opracovatelnosti a dostupnosti. Dřevěné domy dříve převažovali v městských zástavbách, ale po nástupu únosnějších, odolnějších materiálů bylo dřevo vytlačeno na okraj stavebního odvětví. V posledních letech zažívají v Česku dřevostavby velký rozvoj.

Dřevostavby mají čím dál větší podíl na stavebním trhu rodinných domů. Podle rychlosti růstu počtu realizovaných dřevostaveb a jejich oblibě se předpokládá, že svůj potenciál ještě nenaplnily. Všechny odvětví průmyslu se vždy dívají, kam by mohli ještě dále růst. Dodavatelé dřevostaveb také míří dál, přesněji řečeno výš. Po úspěšném ovládnuti části trhu rodinných domů se stále více zaměřují na možnosti více podlažních dřevostaveb. Bytová výstavba má svá specifikace oproti rodinným domům a stavitelé si kladou otázku, jestli už jsou technologie dřevostaveb připravené jít výš.

V technologii dřevostaveb se hojně objevuje prefabrikace. To znamená přesun stavební výroby ze stavby do továrny. V Česku se spoustě lidem stále pojem prefabrikace asociuje s betonovou panelovou výrobou. V každém městě přítomná sídliště připomínají, co prefabrikace dříve znamenala.

Všemi druhy průmyslu rezonuje téma udržitelnosti, snížení uhlíkové stopy a environmentálního dopadu obecně. Stavebnictví, jako jedno z klasických odvětví průmyslu je zodpovědné za značnou část spotřeby energie a nerostných surovin. Hledání nových technologií šetrných k životnímu prostředí a hodnocení environmentálního dopadu staveb je aktuálním tématem. Situaci a řešení problémů popisují pojmy jako trvale udržitelný rozvoj, recyklace, bezemisní atd. Otázkou, kterou si klade tato práce je, jestli jsou tyto slova pouze teorie nebo už i realita současného stavebnictví.

Všichni se shodující, že snižování environmentálního dopadu a cesta k cirkulární ekonomice trvale udržitelného rozvoje nesmí být ve pouze ve smyslu redukce činností a spotřeby, ale musí se hledat i ekonomická a společenská výhodnost nových šetrných technologií.

2. Cíle práce

Tato práce se zaměřuje na technologii prefabrikovaných dřevěných rámových panelů a jejich využití v praxi pro vícepodlažní budovy. Nejdříve jsou představeny

historické a současné technologie dřevostaveb podle dostupné české i zahraniční literatury. Bude představena i varianta CLT panelů jako možná alternativa lehkým rámovým panelům. Na závěr úvodní kapitoly jsou uvedeny statistiky a vývoj dřevostaveb v Česku v porovnáním s našimi nejbližšími sousedy Rakouskem a Německem. Následně popíšu řešení normových technických požadavků ověřenými konstrukcemi a technologiemi, které jsou stále ve fázi výzkumu. Cílem je také ověřit, zda jsou pravdivá marketingová sdělení dodavatelů dřevostaveb o jejich výhodách a zda jsou oprávněné obavy jejich odpůrců.

V praktické části je provedeno porovnání typových konstrukcí referenční vícepodlažní budovy s řešením technologií rámových panelů. Porovnání bude z hlediska environmentálního a ekonomického dopadu. Dále jsou popsány aktuální výzvy a problémy při realizaci více podlažních dřevostaveb z rámových panelů. První cíl je najít takové skladby rámových panelů, aby vyhovovaly normovým požadavkům.

V analýze environmentálního dopadu je vytvořen výpočetní model na referenční reálné stavbě. Pomocí EPD (enviromentální produktová deklarace) certifikátů je odhadnut dopad samotných konstrukce. Pomocí logistických kalkulaček je určen podíl uhlíkové stopy dopravy materiálů v procesu výstavby a prefabrikace. V certifikátech udržitelného rozvoje je logistika přísně hodnocena a je vyvíjen tlak používat co nejvíce lokálních materiálů. Z toho důvodu je nutné ověřit, jestli je to významná položka v celkovém množství nebo ne. Celkový rozbor vytvořený pomocí tabulkového editoru Microsoft excel tabulky nikoliv specializovaného software, má odhalit slabá místa v celém řetězci. Cílem této analýzy je potvrdit nižší environmentální dopad dřevostaveb než u konvenční stavby, a zároveň zjistit kvalitu a dostupnost dat, včetně podílu environmentálního dopadu logistiky materiálu. Předpokládá se, že logistika bude mít větší podíl na environmentálním dopadu než konvenční stavba, jelikož je materiál převážen dvakrát: Nejdříve do panelárny k prefabrikaci a následně na staveniště.

V ekonomické analýze je cíl prokázat ekonomickou výhodu dřevostaveb pomocí provedeného rozboru jednotlivých konstrukcí a logistiky materiálů k prefabrikaci a na staveniště. I tady se očekává, že pro dřevostavby bude větší logistika a delší zásobovací řetězec ekonomickou zátěží. Cílem je porovnat ekonomiku konstrukcí, procesů prefabrikace, výstavby a logistiky materiálu. V této části budu hledat odpověď, jestli jsou dřevostavby spolehlivou nebo rizikovou investicí.

3. Teoretická část

3.1 Technologie dřevostaveb

Jakou stavbou lze označit za dřevostavbu? Spousta lidí má v podvědomí pojem dřevostavby spojený s dřevěnými domky, chatami, sruby nebo roubenkami. Zkrátka stavby, kde je dřevo vidět a na první pohled je jasné, že dřevo je základním prvkem celé konstrukce. Nicméně dnes označujeme za dřevostavbu i konstrukce, ve kterých dřevěné prvky nejsou vůbec vidět. Obecně označujeme za dřevostavbu takovou konstrukci, která má většinu nosných prvků vyrobené ze dřeva nebo na dřevěné bázi. [1]

3.1.1 Historie dřevostaveb

Dřevo jako stavební materiál byl využíván od nepaměti po celém světě. Díky svoji opracovatelnosti a přístupnosti hrálo dřevo nemalou roli ve všech architektonických slozích, kdy dokázalo naplnit jakékoli představy každého stavitele. Dřevo bylo vždy součástí sakrálních, zemědělských, měšťanských a militantních staveb. Podle archeologických nálezů bylo dřevo použito pro lidská obydlí již v pravěku v mladší době kamenné. Dříve se stavělo daleko více z lokálních materiálů, proto jsou dřevostavby častější v místech, kde bylo dřeva vždy dostatek. V severní, centrální a východní Evropě můžeme dodnes obdivovat několik století staré dřevěné kostely, různé sakrální stavby a hrázděné měšťanské domy. Zatímco z jižní Evropy známe výhradně kamenné stavby. [1]

Dřevěné konstrukce zaznamenaly v Evropě významný útlum během průmyslové revoluce. S nástupem betonových konstrukcí a pálených cihel byly dřevostavby ze středoevropského trhu skoro vytlačeny. Jedinou výjimkou bylo období světových válek, kdy byl nedostatek veškerého materiálu. Renesanci dřevostaveb nastartovalo až povědomí o ekologii a trvale udržitelném rozvoji. Na konci 20. století proběhl vývoj a významný posun. Nové materiály, zejména deskové prvky na bázi dřeva a sádry nebo lepené nosníky a trámy, dokázaly udělat dřevostavby konkurenceschopné vůči konvenčním stavbám. Na českém trhu známe hlavně dřevěné rodinné domy maximálně do dvou nadzemních podlaží. V posledních letech díky novým výpočetním programům, výkonným přepravním a zdvihacím zařízením představují také vícepodlažní dřevostavby další cestu v bytové výstavbě. [1]

Útlum dřevostaveb nebyl všude na světě. Například v Severní Americe se podíl dřevostaveb na trhu rodinných domů držel okolo 90 procent celé 20. století a

trvá dodnes. Právě na základě poznatků ze Severní Ameriky byly vyvinut systém rámových panelů. [1]

3.1.2 Typy dřevostaveb

Sruby a Roubenky

Tradiční typ masivní stěnové dřevostavby, který je tvořen opracovanými trámy. Podle tvaru průřezu trámu rozeznáváme sruby a roubenky. Sruby jsou zpravidla tvořeny ze smrkových kulatin, které jsou pouze odkorněny a hrubě opracovány. Sruby se v naprosté většině spojují v rozích přeplátováním. Oproti tomu roubenky mají trámy opracované do čtvercového tvaru průřezu. Roubené stavby mají větší variabilitu spojů přeplátováním, rybinovým spojem, spojem na zámek nebo jejich modifikacemi. Roubenky jsou dnes tvořeny na CNC strojích na rozdíl od srubů, kde jsou kulatiny stále opracovávány ručně. Roubenky vykazují menší sednutí při vysychání a tím získávají výhodu oproti srubům. Sednutí u srubů může být až 15-18 cm na podlaží, naopak u roubenky to může být 3-5 cm. I když se jedná o velmi starou technologii stavění, mají sruby a roubenky stále místo v moderním stavebnictví. V horských oblastech se touto technologií staví stavby pro rekreaci a restaurace. [1]

Hrázděné stavby

Hrázděné stavby jsou typické pro viditelnou nosnou dřevěnou konstrukci vyplněnou zdivem. Celá konstrukce je tvořena sloupky, příčníky a vzpěrami. Právě vzpěry v různých směrech pomáhají vytvářet typický vzhled hrázděných konstrukcí uspořádaných do pravidelných obrazců. Například dvě vzpěry do kříže přes sebe známé jako Ondřejův kříž, jsou typickým prvkem pro ztužení hrázděné konstrukce. Tyto stavby byly vyvinuty zejména v oblastech, kde nebyl dostatek dřeva pro masivní dřevěné stavby. Dnes se tyto stavby již nestaví. [2]

Sloupkové soustavy

V polovině 19. století, když byly v Evropě dřevostavby na ústupu, se v Severní Americe vyvinuly dva konstrukční systémy zvané Balloon-Frame a Platform-Frame. Sloupkovou soustavu můžeme z konstrukčního hlediska označit za lehký skelet. Tyto konstrukční systémy splňovaly požadavky na rychlou výstavbu a rychle se rozšířili. Základem pro Balloon-Frame je soustava blízko u sebe umístěných sloupků, které jsou průběžné přes dvě nebo více podlaží. Zapuštěná deska do sloupků na stojato slouží jako podpora pro stropní nosníky. Celá soustava je potom ztužena deskovými

prvky. Platform-Frame se liší od Ballon-Frame stropní konstrukcí, která přerušuje průběžné sloupky a tvoří tak poschoďovou soustavu. Stropní konstrukce potom slouží jako pracovní plocha pro přípravu a montáž dalšího poschodí. Prvky v Platform-Frame už bývají standardizované a vykazují první znaky prefabrikace. Je to dodnes používaný systém v Severní Americe pro stavbu jedno až dvou patrových domů. Tento systém byl inspirací pro prefabrikované systémy rámových panelů, které jsou nyní používané v Evropě. [2]

Rámové panelové systémy

Stejně jako u Platform-Frame tvoří základ konstrukce rastr z tyčových dřevěných prvků. Prostorovou tuhost zajišťují deskové prvky na bázi dřeva nebo sádry. Tento systém byl vyvinut pro účel prefabrikace a pro kombinaci nejmodernějších materiálů ve stavebnictví. Svislé trámy jsou dnes zpravidla KVH nebo BSH hranoly, jejich rozteč bývá standartně 625 mm. Materiálů pro deskové prvky je k dispozici hned několik. Na bázi dřeva trh nabízí například OSB, Cetris nebo dřevotřískové desky. Výrobci sádrokartonových systémů pro tento účel vyvinuli vysokopevnostní sádrové a sádrovláknité desky, např.: Rigistabil, Rigidur, Fermacell. Panely mají širokou škálu skladeb a dnes již splňují veškeré legislativní požadavky na akustiku a požární odolnost. Panely se dělí podle jejich navrženého účelu. Rozlišujeme panely pro obvodové stěny, mezi bytové příčky, dělící příčky, stropní a střešní panely. Panely bývají vyplněny izolací podle akustických, tepelně-technických a protipožárních požadavků. Tomuto systému se podrobněji věnuje praktická část této diplomové práce, kde jsou popsány a okomentovány skladby panelů pro jednotlivé účely a porovnání s ekvivalentní konvenční zděnou nebo betonovou konstrukcí. [1]

Masivní panelové systémy

V 90. letech minulého století byl v Rakousku vyvinut systém křížem lepených panelů, známých pod označením CLT (cross-laminated timber). Panel se skládá z masivních lamel kladených kolmo přes sebe ve 3-7 vrstvách, které jsou mezi sebou vzájemně sešroubovány a lepeny. Variace skladeb je velmi bohatá a dostačující pro legislativní požadavky na nové budovy. Ve srovnání s lehkými rámovými panely vykazují CLT panely lepší akustické a protipožární vlastnosti. Nicméně mezi bytové příčky a stropní desky většinou nevyhoví a je nutné konstrukci izolovat další vrstvou. Tyto panely nemají tvarová omezení a rozměrová omezení jsou podle velikosti výrobní linky a dopravních možností, zpravidla maximálně 3x16-18 m. CLT panely mají velkou prostorovou tuhost a prokazují menší míru sednutí. CLT jsou označovány

jako vhodnější pro výškové dřevostavby než rámové panely. V roce 2008 byla dokončena výstavba devíti podlažního obytného domu v Londýně - Murray Grove Tower. Dnes již stojí i vyšší dřevostavby je provedená studie na třiceti patrovou dřevostavbu. Ve skandinávských zemích nemají dřevostavby výškové omezení a zdá se, že ani z technologického hlediska konstrukce z CLT panelů nedosáhli svého maxima. [3]

Za zmínku stojí v český výrobce NOVATOP, který vyvinul svůj vlastní systém inspirovaný zkušenostmi z Německa a Švýcarska.

V zahraniční je již celá řada výrobců s vlastními systémy. Za nejzajímavější a velice progresivní bych označil systém HOLZ 100 z Rakouska. Pan Dr. Ervin Thoma vyvinul systém výroby CLT panelů čistě na přírodní bázi. Jeho panely neobsahují žádné kovové spojovací prvky ani lepidla na bázi formaldehydu. Spojování jednotlivých panelů je řešeno pomocí kolíků z tvrdého dřeva. Pro tyto panely se používá výhradně měsíční dřevo. Měsíční dřevo je na českém trhu opomíjený pojem. Těžba tohoto dřeva se řídí podle lunárního kalendáře a lze jej těžit jen v určené dny v roce. Je to stále relativně abstraktní pojem, ale jedná se o celou filozofii, jak pracovat se dřevem a dosáhnout největší možné kvality výrobků ze dřeva. [4]

Těžký dřevěný skelet

I u dřevostaveb můžeme rozlišovat mezi dvěma základními konstrukčními systémy a jejich kombinací. Rámové a masivní panely působí lineárním zatížením stejně jako stěnové systémy konvenčních staveb, naopak dřevěný skeletový systém působí bodovým zatížením. Skeletový systém tvoří velké otevřené prostory a může být rozdělen na jednotlivé části bez ohledu na nosnou konstrukci. Splňuje tak podmínku většiny investorů administrativních a obchodních budov, kde je požadavek na možnost změny dispozice v průběhu životnosti stavby. [1]

Dřevěné nosníky jsou vyrobené z lepeného lamelového dřeva s pevnostním označením GL24h a dále se dělí podle vzhledových tříd – normální (N) a průmyslová (P). Spojovací styčníkové prvky jsou výhradně ocelové a bývají výraznou cenovou položkou projektu. Prostorové ztužení mohou zajišťovat buď ocelová táhla, diagonály z masivního dřeva, vložená železobetonová schodiště, protipožární stěny nebo fasádní desky. Pro fasádní ztužení se mohou použít rámové i masivní rámové panely. I pro fasády dřevěných skeletů mohou být použity lehké obvodové pláště. Ve skeletových dřevostavbách je snaha používat prefabrikované konstrukční systémy na bázi dřeva i pro dělící konstrukce. Nicméně v případě administrativních budov je tato

technologie spíše komplikací. Když si představíme požadavek na změnu dispozice celého podlaží, tak se zdá nemožné zachovat dělící panely v kuse.[1]

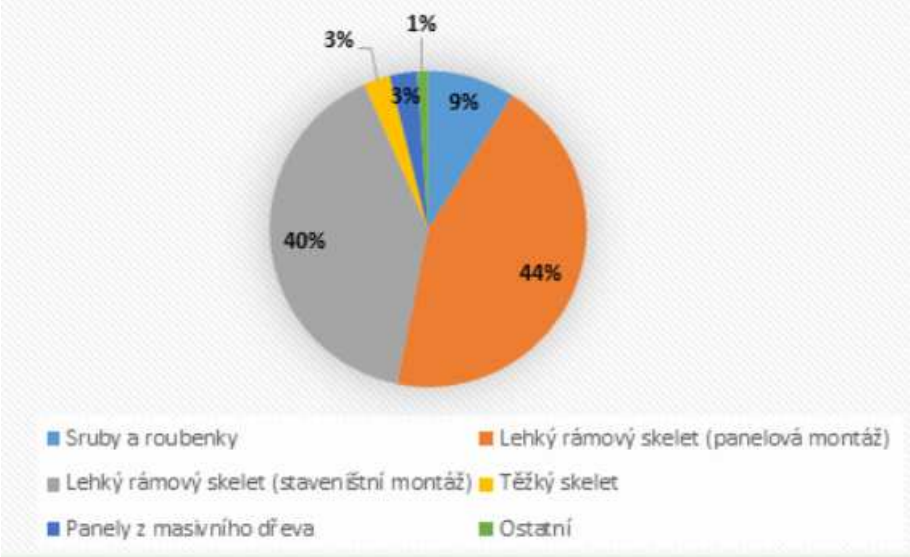
Samotnou podkapitolu pro skeletové stavby tvoří lehké obvodové pláště. I v tomto směru došlo k dalšímu vývoji. Profesor Tywoniak a spol. vyvinul v Univerzitním centru efektivních budov (UCEEB) systém lehkého obvodového pláště na bázi dřeva zvaný Envilop. Původní záměr byl najít vhodné řešení pro náhradu technologie tzv. Boletických panelů, které byly hojně využívány na území Československa od 60. let dvacátého století. Velké množství starých administrativních a občanských staveb má obvodové pláště v nevyhovujícím stavu – netěsnící okna, poškozené otevírání oken, neatraktivní vzhled a přítomnost azbestu. Envilop je samozřejmě vhodný i pro nové dřevěné skelety, nicméně lze použít pouze pro menší stavby, pro vysoké budovy se budou zcela jistě nadále používat ověřené systémy s kovovou nosnou konstrukcí. [5]

3.1.3 Současná praxe ve statistikách

V České republice lze pozorovat rostoucí zájem o dřevostavby již několik let. Podle zveřejněných dat Českého statistického úřadu a Asociace dodavatelů montovaných domů se v roce 2018 dokončilo 2945 rodinných dřevostaveb. Z celkového čísla 18287 dokončených rodinných domů to je 16,1 %. Pro srovnání v roce 2000 to bylo pouze 133 domů (1,4 %). Postupný nárust dokončených dřevostaveb je popsán v grafu č.1. [6]

Graf 1: *Statistika dokončených dřevostaveb v ČR [6]*

Njepoužívanější typy dřevostaveb byly v roce 2018 konstrukce z lehkých rámových panelů (44 %), dále pak lehký rámový skelet bez prefabrikace (40%). Srubů a roubenek bylo postaveno 9 procent. Překvapivě se v České republice stále nestaví velké množství masivních panelových dřevostaveb, minulý rok jich bylo dokončeno pouze 82, což tvoří pouze 3 procenta z celkového počtu. Staveb s těžkým skeletem byly také 3%. Ostaních, nezařaditelných dřevostaveb bylo 33 – 1 procent z celkového počtu. Situace je popsána výsečovým grafem č.2 [6]



Graf 2: *Podíl jednotlivých druhů dřevostaveb v roce 2018 [6]*

Konstrukce dřevostaveb jsou obecně vhodné pro pasivní standardy, proto není překvapením, že 62% dřevostaveb v roce 2018 bylo z energetického hlediska mimořádně úsporných, 6% bylo mimořádně úsporných a pouze 32% neúsporných. [6]

Podrobnější statistiky poskytují dřevostavbaři v Rakousku, Německu. Z letošních zveřejněných zpráv vyplývá rostoucí trend v oblasti dřevostaveb u našich sousedů. V Německu se obytných budov postavilo 17,8 %, avšak tento trend není rozdělen rovnoměrně do všech spolkových zemí. Větší popularitě se těší dřevostavby na jihu země v Bavorsku (21,6 %) a Baden-Württembergu (29,9 %), zatímco v Dolnosasku pouze 10,6 %. Pro nebytovou výstavbu bylo v Německu dokončeno dřevostaveb 17,8 % z celkového počtu. V nebytové výstavbě se dřevostavby pohyují okolo 20 procent podílu ze všech. [7]

Rakousko jako dřevostavební velmoc se pyšní vyššími čísly. Za rok 2018 podíl dřevostaveb ze všech nově postavených budov bylo 24% z toho 47% bylo nebytového charakteru. [8]

3.1.4 Ochrana dřeva

Pro životnost dřevostaveb je zcela zásadní kvalitní projekt, výběr vhodných a kvalitních materiálů a profesionální provedení. Kvalitní projekt je zpracovaný tak, aby se minimalizovalo riziko poškození dřeva houbami a hmyzem a potlačila působnost UV záření, emisí a vody a omezil vznik a šíření požáru. Materiály z rostlého dřeva nebo kompozitní na bázi dřeva mívají odlišnou odolnost proti škodlivým vlivům. Nedostatečná odolnost se dá řešit vhodnou chemickou ochranou. Pro ochranu dřeva je zásadní dosáhnout co největší konstrukční ochrany a poté podle požadavku na životnost stavby, expozice zatížení stavby a výběru materiálu, přistoupit na ochranu chemickou.[2]

Právě panelové prefabrikované systémy mají výhodu v hlídání technologických postupů a jejich plnění. Kontrola jakosti a správné skladování vstupních materiálů je bezesporu daleko preciznější než na staveništi. Právě kontrola samotné vlhkosti dřeva podle ČSN EN 1995-1-1- Eurokód 5 je zcela zásadní. Pro posouzení vlhkosti je použité dřevo rozděleno do tříd použití.[9]

- dřevo pro třídu použití 1 (interiér) – max. 12 %
- dřevo pro třídu použití 2 (nevytápěná střecha) – max. 20 %
- dřevo pro třídu použití 3 (exteriér, nezakryté bez kontaktu se zemí) – max. 25 %

Podle třídy použití se určují, jestli musí být aplikována chemická ochrana. Ve třídě 3 je chemické ošetření vyžadováno normami. Ve třídách 1 a 2 je chemické ošetření doporučeno pro špatně kontrolovatelné konstrukce. Sebelepší ochrana však neřeší dlouhodobou vlhkost v konstrukci, kterou se musí co nejdříve po zjištění odstranit. [9]

Konstrukční ochrana

Návrh a provedení konstrukční ochrany dřeva se řídí podle těchto zásad:[10]

- U exponovaných prvků povětrnostním vlivům je nutné zajistit rychlé odvedení dešťové vody po povrchu a možnost odkapávání.

- Zabudované dřevo by mělo mít vlhkost blízkou rovnovážné vlhkosti, která bude v budově v průběhu užívání. Lze tím tak zamezit vznik trhlin, které můžou být místem pro vnikání vody, hmyzu a houbových spor.
- Dostatečné výškové umístění nad terénem (min. 300 mm) pro ochranu před odstřikující vodou a tajícím sněhem.
- Střechy musí být dostatečně odvodněné, dokonale utěsněné a s dostatečným přesahem.
- U konstrukcí, kde je riziko občasného působení vlhkosti je nutné zajistit dostatečné větrání.
- Zamezit kondenzaci vodních par uvnitř konstrukce.
- Během skladování a montáže je nutné chránit dřevěné prvky před deštěm, sněhem a zemní vlhkostí.
- Protikorozní ochrana všech kovových prvků.
- Vytvoření požárních úseků a dodržování ostatních požárně bezpečnostních zásad. [2]

Při výběru správné ochrany dřeva a dřevěných materiálů pro dřevostavby se postupuje dle norem ČSN EN 335 - *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva: Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo a výrobky na bázi dřeva,* ČSN EN 350 – *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Zkoušení a klasifikace odolnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva proti biologickým činitelům,* ČSN EN 460 – *Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Přirozená trvanlivost rostlého dřeva. Požadavky na trvanlivost dřeva pro jeho použití v třídách ohrožení*, ČSN EN 73 0823 – *Požárně technické vlastnosti hmot. Stupeň hořlavosti stavebních hmot.* [2]

Chemická ochrana

Chemická ochrana má za úkol zvýšit životnost a bezpečnost stavby. Podle účelu se rozlišují fungicidy (proti houbám), insekticidy (proti hmyzu), retardéry hoření a protipovětrnostní nátěry (pro stabilizaci tvaru a povrchové struktury). Norma, která se zaměřuje na chemickou ochranu dřeva je ČSN EN 351-1 – *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Rostlé dřevo ošetřené ochrannými prostředky – Část 1: Klasifikace průniků a příjmu ochranného prostředku.* Tato norma má i *Část 2: Návod na odběr vzorků pro analýzu dřeva ošetřeného ochrannými prostředky.* [2]

Chemická ochrana dřeva se řídí těmito zásadami: [10]

- Maximální možné využití konstrukční ochrany.

- Správné zařazení do tříd trvanlivosti dřeva podle ČSN EN 350.
- Správná identifikace škůdců a negativních vlivů podle ČSN EN 335.
- Ekologická nezávadnost ochranného prostředku.
- Výběr vhodné technologie.

Monitoring vlhkosti v konstrukci

S inovativním přístupem, jak chránit dřevostavby před nežádoucí vlhkostí a následky jejího působení, přišel START-UP z ČVUT. Firma MoistureGuard, s.r.o. vyvinula systém pro sledování vlhkosti masivních dřevěných prvků, prefabrikovaných panelů, sendvičových podlah a ve vzduchových dutinách uvnitř konstrukce. Systém se skládá ze tří komponent. Jedná se o senzory pro zabudování do konstrukce, senzory pro měření teploty v exteriéru a interiéru a centrální jednotku, která sbírá a vyhodnocuje data. Systém ukládá data do lokálního nebo cloudového úložiště a automaticky informuje v případně zjištěného problému. [11]

3.1.5 Prefabrikace

V porovnání obtížnosti práce na jednotlivých konstrukcích pro dosažení všech legislativních požadavků oproti konvenčním systémům jsou dřevostavby složitější. K dosažení požadované kvality je zapotřebí mnohem větší technologická kázeň. Z tohoto důvodu se pro výrobu dřevostaveb nabízí možnost prefabrikace. Pro výrobu dřevostaveb je nutné, aby se výrobci řídili pravidly Evropské organizace pro technická schvalování EOTA (European Organisation for Technical Approvals). Tato pravidla se nazývají Směrnice pro evropská technická schválení ETAG (European Technical Approval Guideline). Níže jsou uvedené směrnice pro výrobu dřevostaveb. [10]

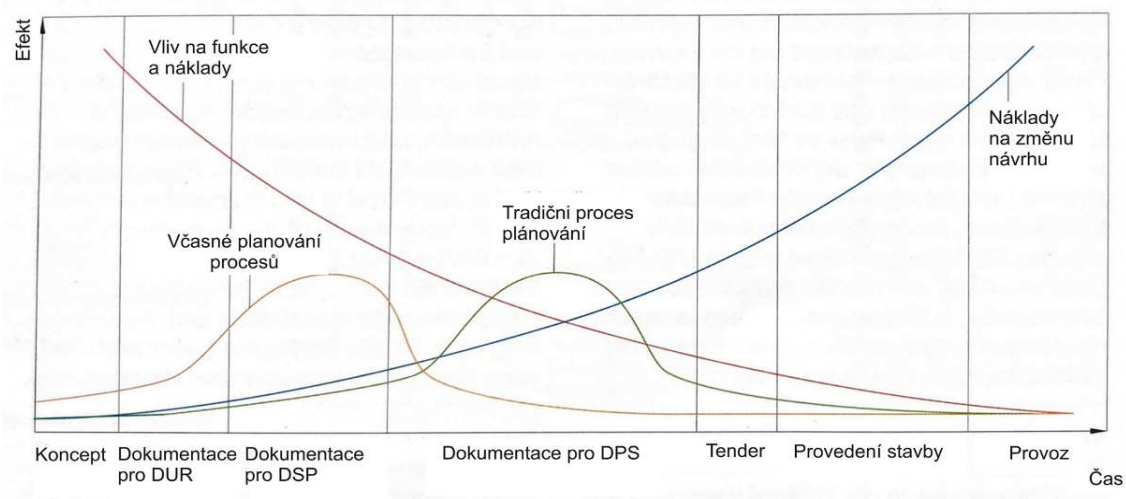
- ETAG 007 – Dřevěné rámové stavební sestavy
- ETAG 008 – Prefabrikované schodišťové sestavy
- ETAG 011 – Lehké kompozitní nosníky a sloupy na bázi dřeva
- ETAG 012 – Srubové stavební sestavy
- ETAG 016 – Samonosné lehké kompozitní panely
- ETAG 019 – Prefabrikované nosné sendvičové panely na bázi dřeva

Díky prefabrikaci se předpokládá znatelné urychlení výstavby. Stavebnictví je v modernizování nejpomalejší průmyslové odvětví a velmi závislé na řemeslné práci.

Nedostatek kvalifikovaných pracovních sil na trhu práce znamená vážný problém pro celé odvětví. Větší podíl průmyslové výroby na HSV zlepšuje:[3]

- BOZP
- technologickou kázeň
- rychlost výstavby
- digitalizaci

Graf č.3 upravený podle [12] popisuje závislost účinnosti procesů na čase projektu. V průběhu projektu klesá vliv funkce budovy a náklady s ní spojené, zatím co náklady na změny v průběhu projektu rostou. Vhodnější je, když se křivka účinnosti plánovacích procesů posune doleva do fáze projektování budovy. Tradiční procesy plánování jsou ve fázi plánování výstavby. Změny v projektech se musí tedy řešit co nejdříve, jinak můžou výrazně zvýšit náklady a zpomalit průběh výstavby. [12]



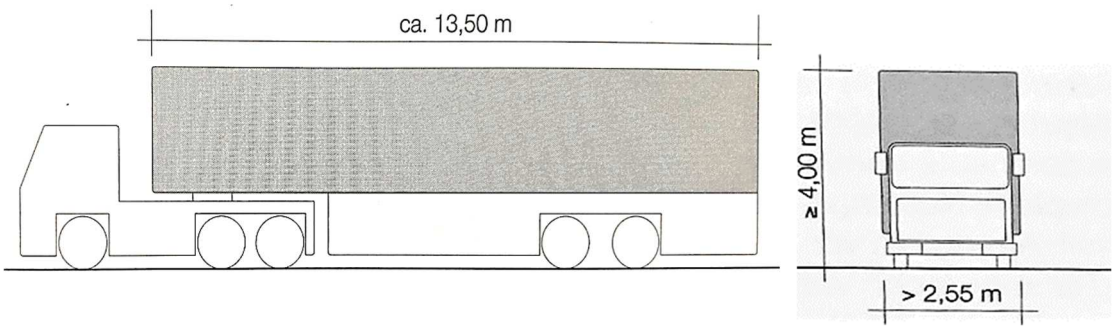
Graf 3: *Efekt jednotlivých procesů výstavby v čase [12]*

Automatizace hlavní stavební výroby HSV je cesta, jak posunout stavebnictví do průmyslu 4.0. Návrh musí být vytvořen v kompatibilním jazyku pro BIM – ifc (iformation foundation classes). 3D CAD/CAM software společně s návrhem domu vytvoří data pro CNC stroje, linku a dalších procesů nutných pro výrobu panelů, jejich dopravu a montáž na staveništi. [13]

Logistika:

Úspěšnost celé výstavby závisí na logistice. Příprava dřevostaveb potřebuje velké prostory jako je sklad materiálu, výrobní linka, sklad výrobků a administrativní část. V porovnání s in-situ systémy má prefabrikace delší dodavatelský řetězec. [1]

Velikost panelů je omezena maximální rozměry s ohledem na možnosti výrobní linky a automobilové dopravy. Maximální výška soupravy tahače s návěsem mohou být 4 m + 2 %, šířka 2,55 m, délka 18,75 m. Standardní délka ložné plochy návěsů je 13,6 metrů a jsou ve výšce cca 1 m. [14] Například firma Soukup wood machinery, dodavatel strojů pro výrobu dřevěných panelů uvádí, že prefabrikované panely na jejich linkách můžou být maximálně 4 metry vysoké a 12 metrů dlouhé. [15] Na obrázku č.1 jsou maximální možné rozměry nákladního automobilu. Vyšší rozměry jsou možné, ale transport je nadměrného nákladu je výrazně dražší.[12]



Obr. 1: *Maximální rozměry nákladního automobilu bez zvláštního statusu [12]*

Rychlost výstavby:

Rychlost celého procesu výstavby prefabrikovaných dřevostaveb nelze obecně určit pomocí tabulkových hodnot. Jsou uvedeny dva příklady ze zahraniční, kde dosáhli velmi dobrých výsledků při výstavbě vícepodlažních dřevostaveb pro bydlení.

Hummelkaserne ve Štýrském Hradci je soubor čtyř až šesti podlažních obytných budov s celkem 92 byty. V procesu hrubé stavby byly potřeba pouhé čtyři dny na výstavbu jednoho podlaží. Za tento čas bylo v celkovém objemu obestavěno prefabrikovanými panely cca. 1600 m^3. Celková podlahová plocha všech budov projektu je 8003 m^2. Celá stavba byla dokončena v průběhu jednoho roku. [16]

V Mnichoěe byl realizován projekt se sociálním bydlením Wohnen am Dantenbad. Nad původním parkovištěm na Dantestraße bylo na železobetonovém podstavci postaveno 100 malometrážních bytů. Tato budova byla dokončena za 6 měsíců z toho 2 měsíce trvala stavba železobetonového podstavce. Celková plocha objektu bez uvažování parkoviště pod domem je 4 417,1 m^2. [17]

Obr. 2: *Projekt dřevostavby Wohnen am Dantenbad v Mnichově realizovaný v roce 2018 [17]*

3.1.6 Chyby v návrhu a provedení

V kapitole o ochraně dřeva je popsáno, že hlavním destrukčním činitelem dřevěných prvků a celé dřevostavby je nadměrná vlhkost. A právě nadměrná vlhkost uvnitř konstrukce dřevostaveb je nejčastější závadou. Ta může být způsobena, technologickou nekázní i špatným projektem.

Nejčastější chyby způsobené technologickou nekázní.

- Nekvalitně utěsněná konstrukce. Nedostatečná vzduchotěsnost ovlivňuje celkové fungování budovy. Má zásadní vliv na tepelnou ochranu, ochranu proti vlhkosti, akustiku, duševní pohodu (průvan), spotřebu tepla. [18]
- Neodborná změna certifikované skladby. Kromě ovlivnění všech funkcí navržené konstrukce, je také problém při kolaudaci takové stavby. Dodatečné certifikace bývají velmi nákladné, a hlavně dokazují nesprávnost provedené skladby. [19]
- Neutěsněná difúzní vrstva způsobuje kondenzaci vody uvnitř konstrukce. [1]
- Nesprávně provedený obklad nosné konstrukce. Namontované desky se spárami na střih nebo z malých odřezků způsobují praskání omítky. [18]

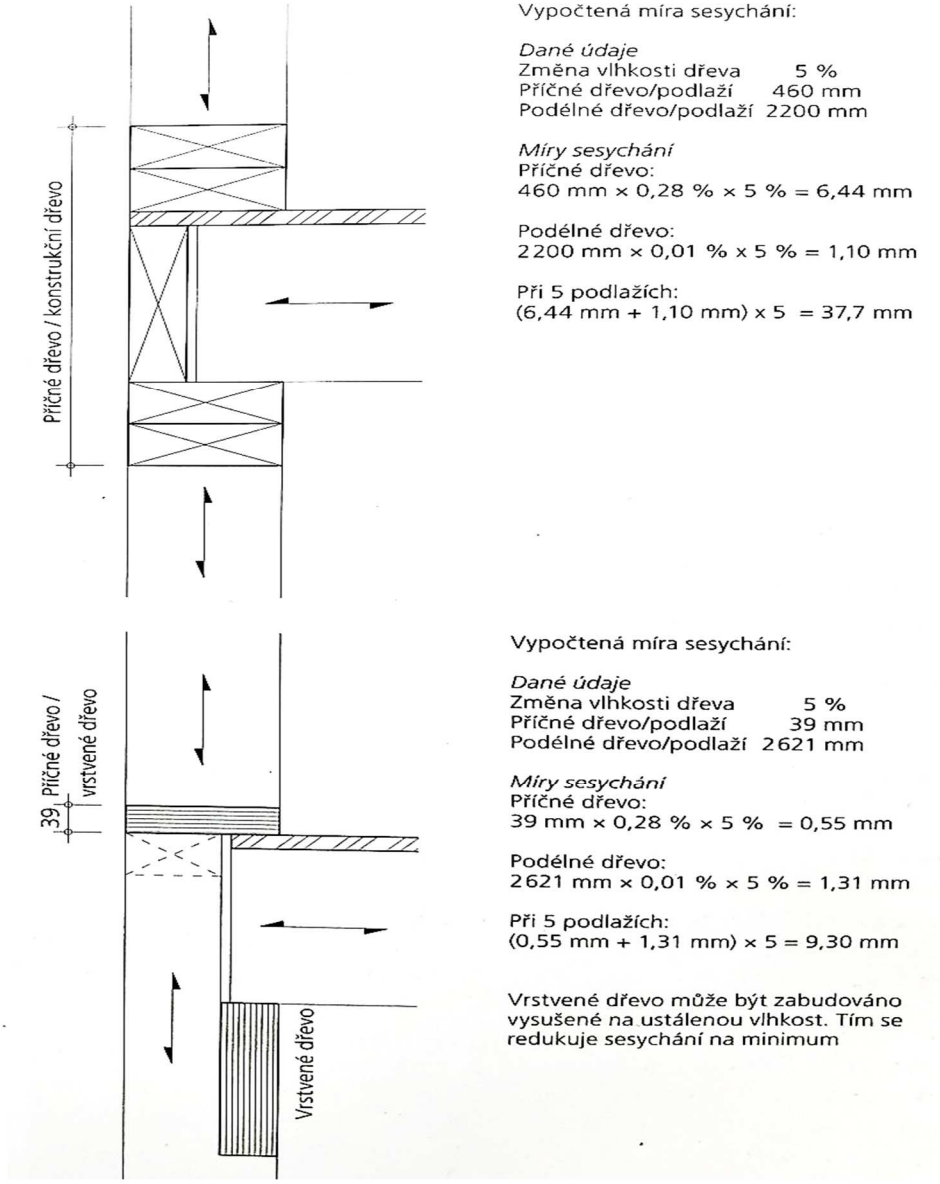
- Nesprávně provedený obklad u otvorů. Umístění styčné spáry desek do rohu otvoru ve stěně může následně způsobit praskliny v omítce. [18]
- Špatně provedené obklady nosných konstrukci narušují statiku celé budovy a tím mohou způsobit praskání okenních skel a rámů, špatné otevírání dveřních a okenních křídel. [1]
- Nekvalitně provedený zásyp střešních panelů z písku nebo štěrků může způsobit průnik zrn mezi spodní obklad panelu a tím pak vrzaní stropní konstrukce. [1]

Chyby způsobené nekvalitním nebo nedostatečným návrhem mohou vzniknout kvůli nezkušenosti projektanta. Někteří stavebníci malých projektů si nechají zpracovat pouze projekt pro stavební povolení a za prováděcí projekt se zpracovanými detaily už nejsou ochotni zaplatit. Chyby projektu mohou být tyto:

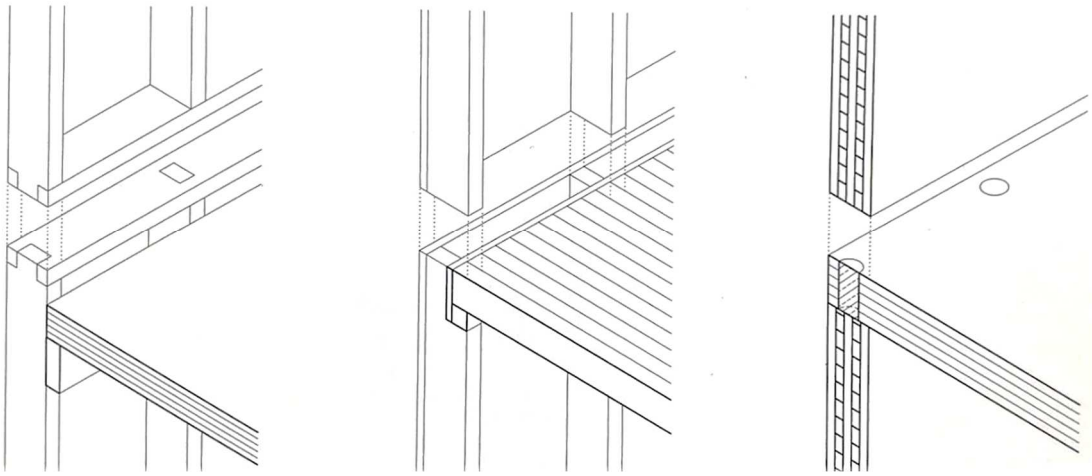
- Špatné statické posouzení. Praskání omítek, okenních skel a rámů, nefunkční otvírání dveřních a okenních křídel. [18]
- Sesedání konstrukce způsobuje deformaci fasádního pláště a obkladů. Opravy samozřejmě zvyšují náklady při užívání stavby. Poruchy skladby vnějšího pláště vážně narušují funkčnost celé budovy. U 5-ti podlažního domu z lehkých rámových panelů může dojít k sednutí až o 40 mm vlivem sesychání dřeva.[1] Řešení toho problému je vidět na obrázku č.4 [1] nebo na obrázku č.5. [12]
- Navržená necertifikovaná skladba. [18]
- Špatný nebo žádný stavebně-fyzikální výpočet. [18]
- Neřešené detaily stavby. [18]

Na obrázku č.4 je sedání vlivem sesychání dřeva řešeno výměnou KVH hranolů v tlakem namáhaných podélných prvcích vrstveným dřevem.

Na obrázku č.5 jsou varianty řešení sedání dřevěných konstrukcí vlivem sesychání dřeva. Je nutné využít přirozené pevnosti dřeva v tlaku. Hodnoty se směru vláken jsou mnohonásobně vyšší než kolmo k vláknům. Vlevo je řešení pro lehké rámové dřevostavby, vpravo pak řešení pro CLT panely. [12]



Obr. 4: *Příklad výpočtu a sesychání příčného a podélného dřeva [1]*



Obr. 5: *Konstrukční řešení napojení svislých a vodorovných konstrukcí [12]*

3.2 Technické požadavky

Aby dřevostavby obstály na stavebním trhu v konkurenci s betonovými a zděnými stavbami, musí splňovat všechny požadavky dle platné legislativy, vyhláška č.268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. Hlavní požadavky, kterým se u dřevostaveb musí věnovat zvýšená pozornost jsou vzduchová a kročejová neprůzvučnost, opatření požární ochrany, hygiena vnitřního prostředí a přehřívání v letním období. Sendvičové panelové konstrukce obsahují větší množství vrstev než konvenční skladby, a právě vhodná volba každé vrstvy a bezvadné provedení každé z nich zajistí požadovanou kvalitu a komfort budovy. Díky nejnovějším materiálům a jejich neustálému vývoji není nemožné plnit ty nejpřísnější požadavky. Jako vždy závisí na vůli stavebníka poskytnout více prostředků pro zvýšení kvality stavebního díla. [10]

3.2.1 Řešení akustických požadavků

Akustická pohoda je velice důležitá pro kvalitní život. Nadměrný hluk v pobytových obytných místnostech má na člověka negativní účinky. V kancelářích má nadměrný hluk a tzv. kavárenský efekt značný vliv na efektivitu práce, ve školách na kvalitu učení a intenzitu soustředění. Také v nemocnicích zvýšený hluk ovlivňuje uzdravení pacientů. [19] Žijeme v hektické době a kvalitní odpočinek je zásadní pro dlouhý a kvalitní život. Kvalitně navržené a provedené budovy chrání člověka před dlouhodobou expozicí hluku působené zejména technickými zařízeními (stroje, doprava). Světová zdravotnická organizace (WHO) považuje za prokázané zdravotní účinky vysoké rušení spánku (HSD – High Sleep Disturbance) na kardiovaskulární choroby – infarkt myokardu, cévní mozkové příhody a hypertenze. [20]

Nové stavby musí splňovat požadavky a být navrženy dle normy ČSN 73 0532 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků. Tato norma platná, která je od února 2010 určuje základní pojmy – vážená laboratorní neprůzvučnost Rw, stavební neprůzvučnost Rw´, kročejová neprůzvučnost Lw a vážená kročejová neprůzvučnost Lw´. Hodnoty Lw a Rw jsou měřeny v laboratořích a většina výrobců uvádí tyto hodnoty ve svých technických listech. V návrhu je ale nutné počítat s reálnými hodnotami Rw´ a Lw´, které si vypočítávají odečtením korekce k. Hodnota korekce se liší způsobem zabudování prvku do konstrukce. U dřevostaveb obvykle uvažujeme korekce řádově vyšší než u

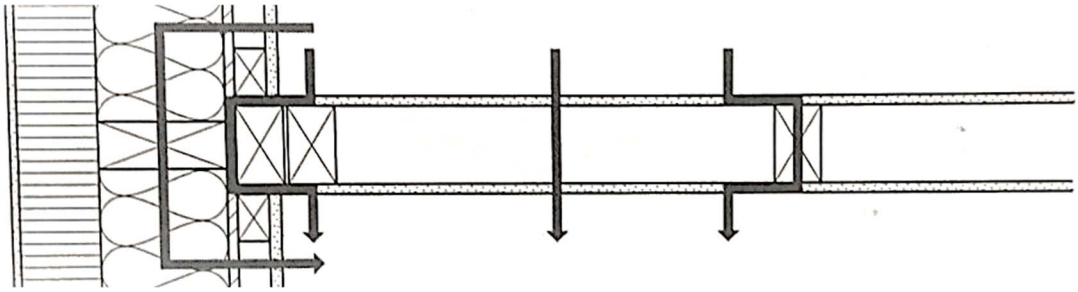
konvenčních konstrukcí. Důvodem je nižší hmotnost konstrukce a větší náchylnost na chybný návrh a provedení. [10]

V bytové výstavbě se klade největší důraz na mezi bytové příčky, stropní konstrukce a u kvalitnějších budov i dělící příčky uvnitř bytu. Pro splnění všech zákonných a klientských požadavků musí v být v dřevostavbách přijata řada konstrukčních opatření. [12]

Stěnové konstrukce

Obecně platí, že má-li konstrukce vyšší hmotnost má také lepší zvukově izolační vlastnosti. Další faktor, který negativně ovlivňuje zvukovou izolaci je ohybová tuhost. Zhoršení je nepřímo úměrné, čím vyšší je ohybová tuhost, tím horší je zvuková izolace. Proto při zvýšení tloušťky homogenní vrstvy dřeva, deskových materiálů nebo zdiva nedochází ke zlepšení zvukově izolačních vlastností, kvůli současnému zvyšování ohybové tuhosti konstrukce. Z tohoto důvodu používáme pro dělící příčky vícevrstvé konstrukce s jednou nebo dvěma řadami nosných sloupků a předstěnami. [1]

Zvuk neprochází pouze napřímo konstrukcí, ale i bočními cestami v přípojích mezi ostatními konstrukčními prvky nebo v připojení mezi jednotlivými vrstvami dané konstrukce. Možné cesty akustických mostů jsou znázorněny na obrázku č. 6. [1]



Obr. 6: *Cesty průchodu zvuku přes konstrukci lehkého rámového skeletu [1]*

U lehkých rámových panelů ovlivňují zvukovou izolaci tyto faktory:

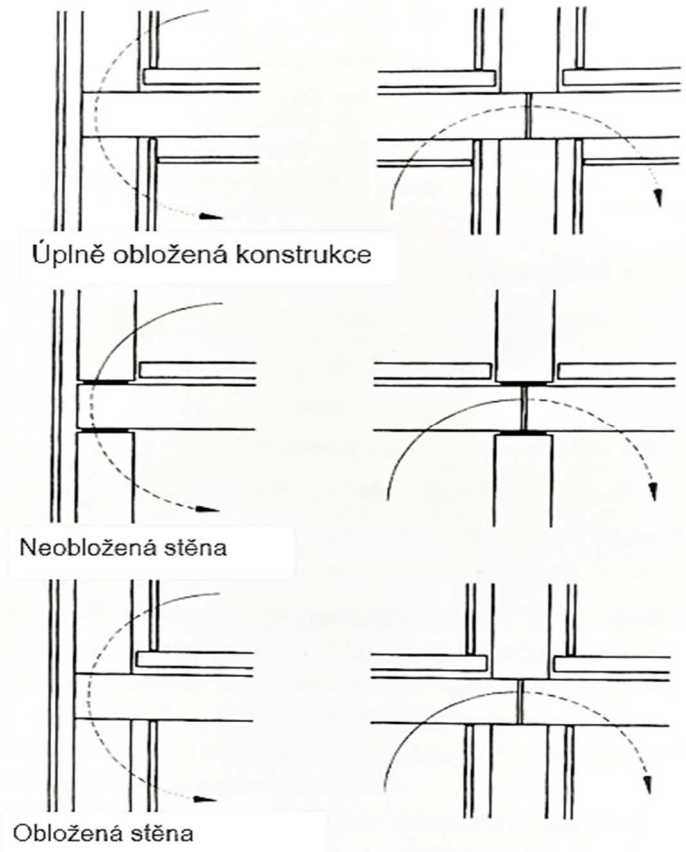
- druh, připevnění a vzdálenost vrstev
- vyplnění dutého prostoru
- vzdálenost sloupků
- přenosy vedlejšími cestami přes konstrukci
- přenosy vedlejšími cestami bočními konstrukčními prvky

V místě připojení plášťů s nosnými sloupky dochází k přenosu zvuku. Bodovým či kloubovým připojením lze dosáhnout k výraznému zlepšení, současně je důležitá i volba samotného připojovacího prostředku, například použitím distančních šroubů a desek z tvrdých vláknitých nebo minerálních materiálů. Pro konstrukce s největšími požadavky jsou mezi bytové příčky, zde je obvykle nutné použít zdvojené příčky, kdy nosné konstrukce těchto příček nejsou vůbec mechanicky spojeny. [1]

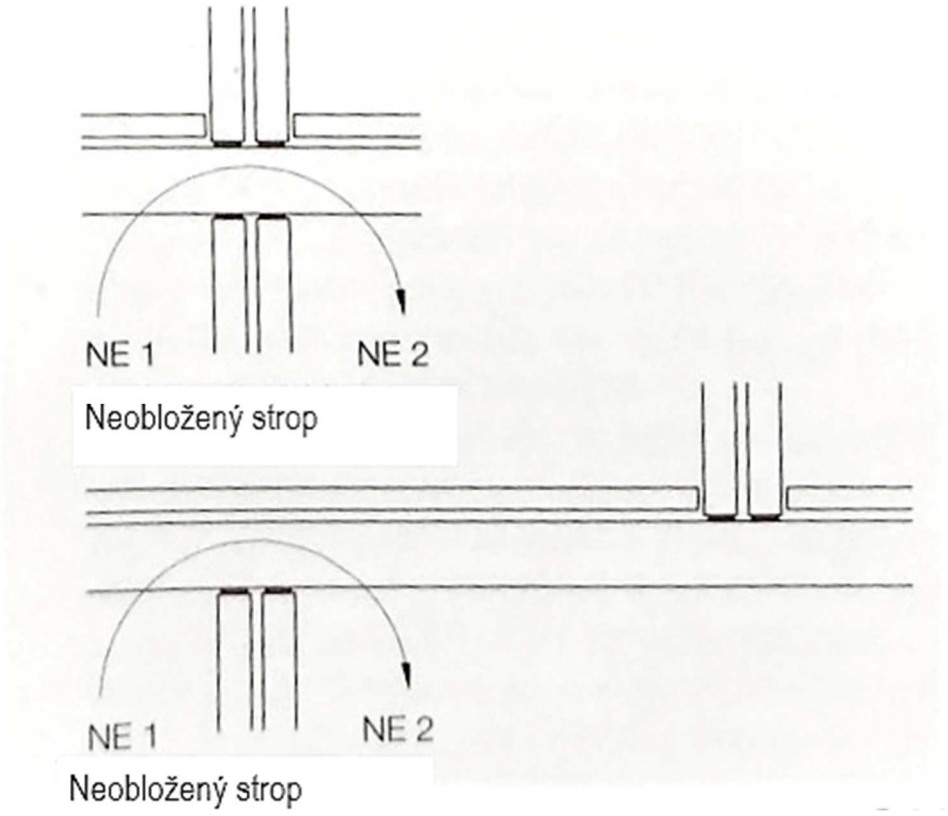
Dutý prostor je nutné vyplnit vláknitou izolací nebo foukanou celulózou. Pro vyplnění dutého prostoru není vhodné použití tuhých dřevovláknitých desek a jiných tuhých izolací. Další faktor, který ovlivňuje izolační vlastnosti dutého prostoru je vzdálenost sloupků. Z empirických zkušeností a laboratorních měření bylo dokázáno, že již při rozteči sloupků menší než 600 mm dochází ke zhoršení zvukové izolace. [1]

Po provedení správné skladby příčky musí být zajištěno vhodné napojení na ostatní konstrukce. Přenosy vedlejšími cestami mohou výrazně zhoršit akustické chování celé konstrukce. Na obrázcích č.7. a č.8. upravených podle [12] jsou znázorněna nevhodná a vhodná řešení. Napojení jsou většinou provedena přes různé pružné pásky nalepené v místě spojů. Nejlepší je provedení, kdy jsou nosné prvky úplně odděleny předstěnami a podhledy. [12]

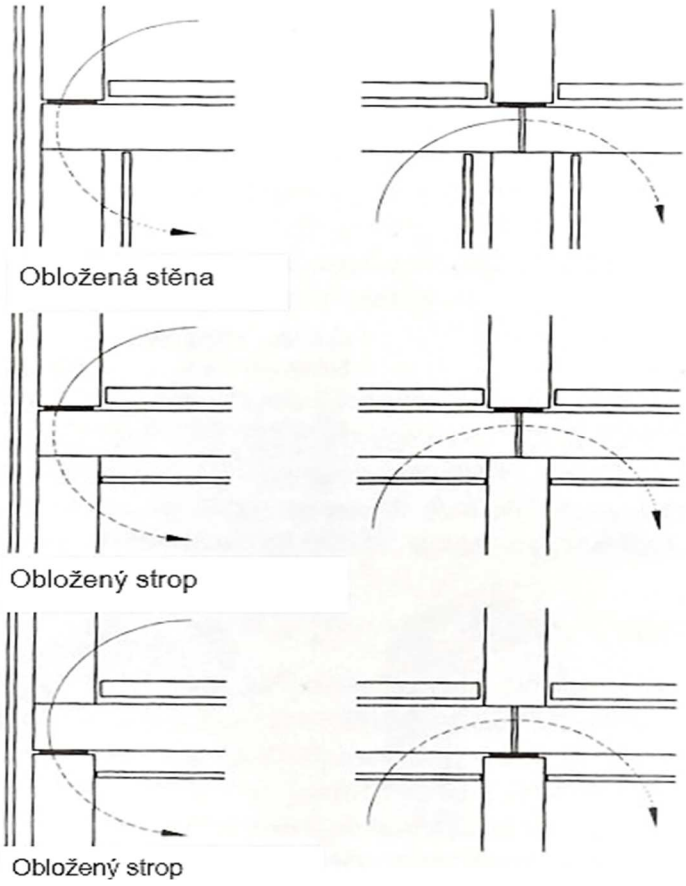
Na obrázku č.9 upraveném podle [12] je zobrazena situace dvojité mezi bytové stěny, kde stropní deska funguje jako akustický most.



Obr. 7: *Příklady řešení zamezení průchodu zvuku přes napojení konstrukcí [12]*



Obr. 9: *Nevhodné řešení mezi bytové dvojité stěny [12]*



Obr. 8: *Další příklady řešení zamezení průchodu zvuku přes napojení konstrukcí [12]*

Stropní konstrukce

Pro stropní konstrukce je zásadní kročejová izolace, obvykle platí, že pokud skladba vyhoví z hlediska kročejového útlumu, tak také vyhoví z hlediska vzduchové neprůzvučnosti. [12]

Pro materiály stropních konstrukcí z hlediska akustických požadavků stejná pravidla. Čím větší je objemová hmotnost a nižší ohybová tuhost, tím lepší jsou vlastnosti akustického útlumu. Z hlediska ochrany proti kročejovému hluku sledujeme u používaných materiálů dynamickou tuhost. Rozlišujeme několik konstrukčních typů stropních konstrukcí – stropy trámové, skříňové a masivní. Stropy trámové mohou mít viditelnou nosnou konstrukci, částečně viditelnou nebo zakrytou spodním obkladem. Z důvodů akustických požadavků ve více podlažních dřevostavbách se používají hlavně obložené trámové stropy. Skříňové stropy jsou tvořeny rastrem nosných trámů tvořících zpravidla čtverce 600x600 mm a horním a spodním obkladem. Masivní

stropy jsou obvykle dnes obvykle tvořeny CLT panely nebo stropními elementy vkládanými na zámek do sebe. [1]

Všechny druhy dřevěných stropů mají několika vrstvou hrubou podlahu, zpravidla složitější než u konvenčních skladeb. Hrubá podlaha je vždy plovoucí – mechanicky oddělená od nosné konstrukce. Pro oddělní hrubé podlahy se používá minerální vlna nebo zvlášť dřevovláknité desky. Při vhodném návrhu a kombinaci všech vrstev lze dosáhnout výborných výsledků. Z důvodů nízké hmotnosti se v hrubé podlaze přidávají ještě další zatěžovací, ohybově měkké vrstvy – například zásypy do voštinových rastrů. Tyto zásypy mohou být písky, štěrkodrtě nebo recyklované drtě. Použití plovoucí betonové mazaniny nebo anhydridu je taky možné, ale jsou s tím spojena určitá rizika. Do kompletního procesu výstavby se vnáší mokrý proces, který by mohl narušit vysychání dřeva a technologickou přestávku v době výstavby. Z toho důvodu se pro přitížení používají betonové dlaždice nebo násypy. Použití velkých prefabrikovaných betonových desek není vhodné, jelikož zvyšují ohybovou tuhost celé konstrukce. [1]

Z důvodu vyhnutí se mokrým procesům se obvykle používají pro nášlapné vrstvy i systémy suchých podlah. Sádrovláknité desky ve dvou vrstvách jako další plovoucí vrstva mohou cementové mazaniny. Z hlediska zvukové izolace jsou suché systémy horší než cementové o jednotky decibelů. [10]

Vliv nášlapných vrstev nemá při správném provedení plovoucí vrstvy hrubé podlahy žádný dopad. Akustické vlastnosti lze zlepšit kobercem, nicméně při návrhu nelze s tímto počítat, jelikož se nášlapná vrstva může během užívání několikrát měnit. [10]

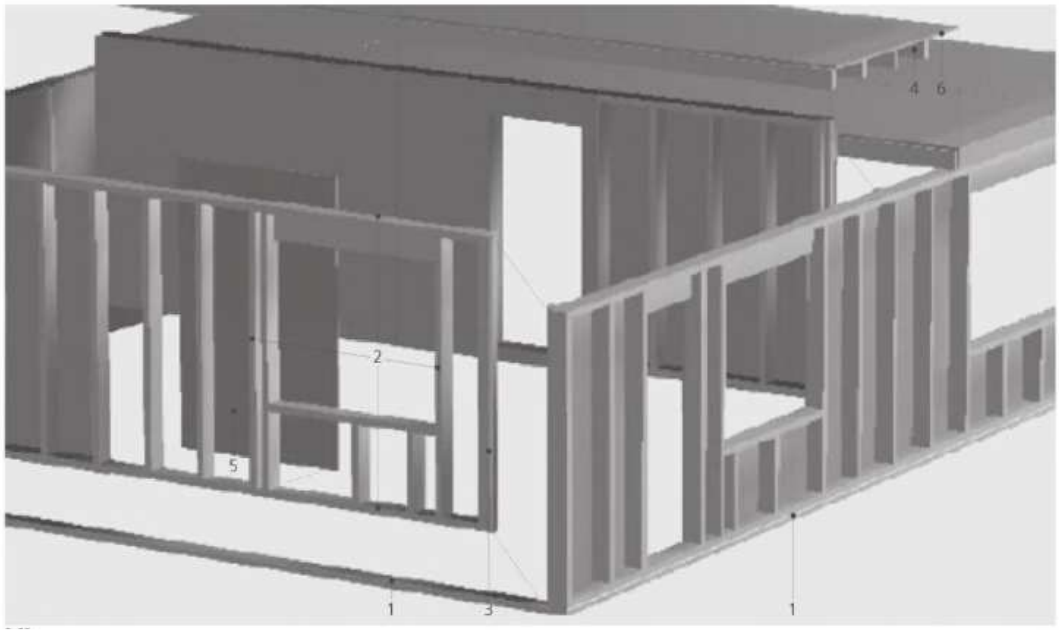
Trámové a skříňové stropy mají mezi nosnými prvky dutý prostor, který je žádoucí zvukově izolovat. Mezi nosné trámy mohou být použity jak minerální izolace, tak i zásypy nebo betonové dlaždice. Zásypy mezi stropní trámy nejsou nic nového, můžeme se s nimi setkat i u rekonstrukcí starých domů. Pokud je u skříňových stropů spodní obklad nepružně spojen s nosnou konstrukcí, tak zásyp nemá žádný význam. U větších vzdálenosti trámů v případě pružného spojeného spodního obkladu je dokonce izolace dutého prostoru vyžadována. [10]

Následující obrázek č.11 upravený podle [1] obsahuje příklady skladeb stropních konstrukcí. Zobrazují variabilitu materiálů, které se mohou v jednotlivých vrstvách používat. [1]

Z údajů uvedených v tabulkách je vidět pozitivní vliv vhodného použití spodního obkladu stropních konstrukcí. U složitějších stropních panelů lze

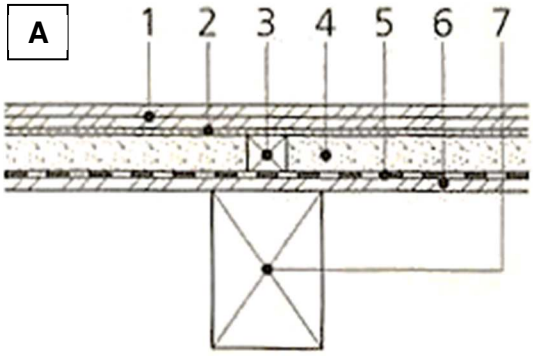
předpokládat značně složitější prefabrikaci oproti stěnovým panelům. I případě prefabrikace montáž hrubé podlahy probíhá vždy na stavbě.

Na obrázku č.10 je zobrazen modelu skautského domu ve městě Baden ve Švýcarsku. Je zde použitý jednoduchá trámový strop.



Obr. 10 *Skautský domov v Baden (Švýcarsko) [1]*

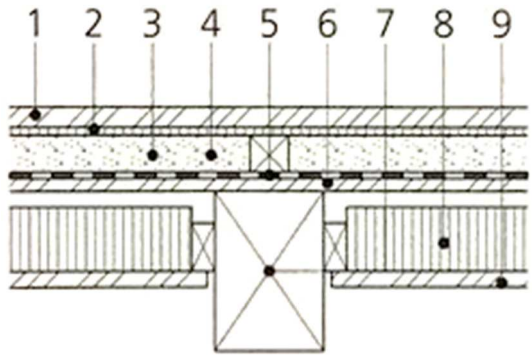
A



č.	Název vrstvy	tl. [mm]
1	dvě dřevovláknité desky s plovoucím uložením	25
2	minerální vláknitá izolační deska, 80-110 kg/m3	10
3	laťování	50/50
4	vysušený písek, 1500 kg/m3	50
5	ochrana proti kondenzaci	
6	dřevěné bednění	21
7	nosníky	140/200

Hmotnost	Výška konstrukce	Vzduchová neprůzvučnost R´w	Kročejová neprůzvučnost L´n,w
126 kg/m2	306 mm	54 dB	65 dB

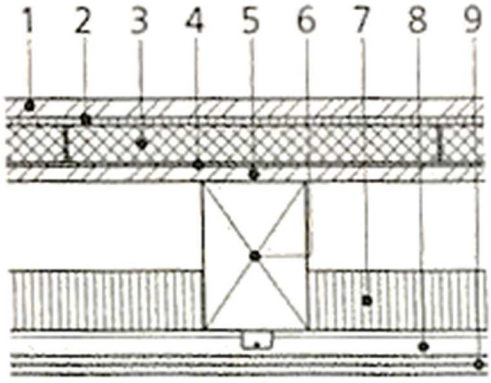
B



č.	Název vrstvy	tl. [mm]
1	dřevotřísková deska s plovoucím uložením	25
2	minerální vláknitá izolační deska, 80-110 kg/m3	10
3	laťování	50/50
4	vysušený písek, 1500 kg/m3	50
5	ochrana proti kondenzaci	
6	dřevěné bednění	21
7	nosníky	140/200
8	minerální vláknitá izolační deska, 30-70 kg/m3	80
9	dřevotřísková deska	16

Hmotnost	Výška konstrukce	Vzduchová neprůzvučnost R´w	Kročejová neprůzvučnost L´n,w
144 kg/m2	306 mm	55 dB	51 dB

C



č.	Název vrstvy	tl. [mm]
1	dřevotřísková deska s plovoucím uložením	25
2	minerální vláknitá izolační deska, 80-110 kg/m3	10
3	betonové desky, 120 kg/m2, 500x500 mm	50/50
4	izolační rouno proti kročejovému hluku	3
5	dřevěné bednění	21
6	nosníky	140/200
7	minerální vláknitá izolační deska, 30-70 kg/m3	80
8	pružně montované laťování	30
9	2x sádrovláknitá deska	25

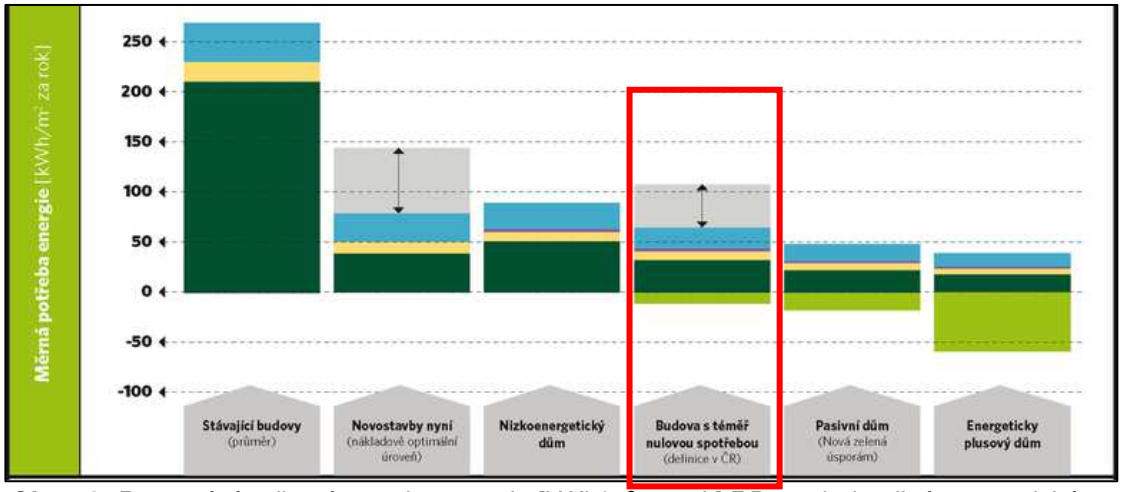
Hmotnost	Výška konstrukce	Vzduchová neprůzvučnost R´w	Kročejová neprůzvučnost L´n,w
197 kg/m2	363 mm	63 dB	44 dB

Obr. 11: *Příklady skladeb stropních dřevěných trámových konstrukcí [1]*

3.2.2 Tepelně-technické požadavky

Od 1.1.2020 vstoupí v platnost nové požadavky na novostavby, které musí splňovat standard budov s téměř nulovou spotřebou energie NZEB (nearly zero-energy bulidings). Základním dokumentem je směrnice Evropského parlamentu a rady energetické náročnosti budov 2010/31/EU novelizovaná směrnicí 2018/844/EU. Požadavky této směrnice jsou provedeny prostřednictvím zákona č.406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů upřesněných prováděcí vyhláškou č.78/2013 Sb. ve znění vyhlášky č.230/2015 Sb. Tato povinnost platí již od roku 2016 pro velké budovy ve vlastnictví státu. Je nutné dodat, že tato vyhláška nepředepisuje, aby byly všechny nové budovy v pasivním standardu s téměř žádnou spotřebou energie nebo že novostavby musí mít nulovou bilanci spotřebované a vyrobené energie. NZEB má tedy trochu jiný název, než co říká samotná definice a může to být na první pohled matoucí. Zjednodušeně nové znění vyhlášky předepisuje kvalitativně přísnější požadavky na obálku budovy, dobře regulovatelné větrání, topení a osvětlení, technické systémy pro energetickou spotřebu budov s částečným využitím obnovitelných zdrojů a dále upravuje metodiku výpočtu energetického průkazu budov. [21]

Porovnání energetických standardů s NZEB je na obrázku č.12. U budov s téměř nulovou spotřebou (červený rámeček) vyznačen interval v horních maximálních hodnotách. [22]

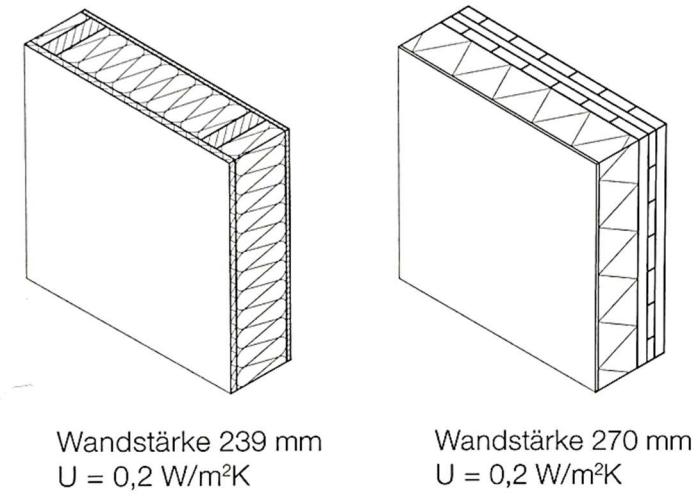


Obr. 12: *Porovnání celkové potřeby energie [kWh/m² za rok] RD pro jednotlivé energetické standardy [22]*

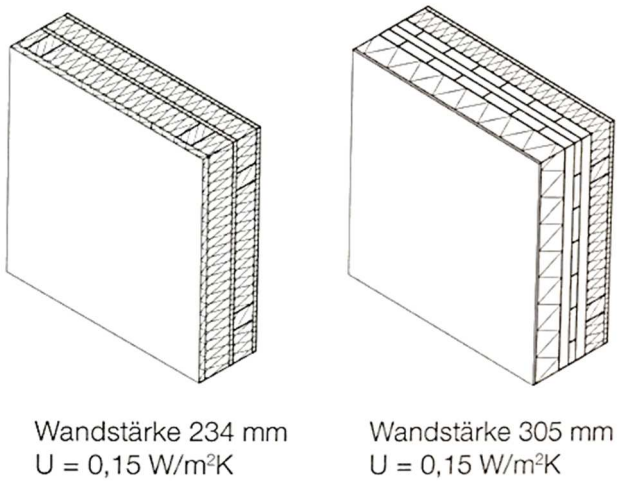
Orientační hodnota požadavku na neobnovitelnou primární energii budovy s téměř nulovou energií je 100-160 (pro malé objekty>200) kWh/m2 za rok v porovnání s doporučením Evropské komise ze dne 29.7.2016 a to 20-40 kWh/m2 pro kontinentální klima, také ČR. Pozor tohle je jiný ukazatel, než je znázorněný v grafu. [22]

Dodavatelé dřevostaveb označují dnešní systémy za ideální pro splnění podmínek pasivního standardu. Pro dosažení požadovaných tepelně-technických vlastností je nutné zohlednit specifika dřevěných konstrukcí a přizpůsobit návrh obálky budovy. Jedná se zejména o řešení neprůvzdušnosti, difúzního odporu vnitřní strany obvodových konstrukcí a vnější zateplovací systém.

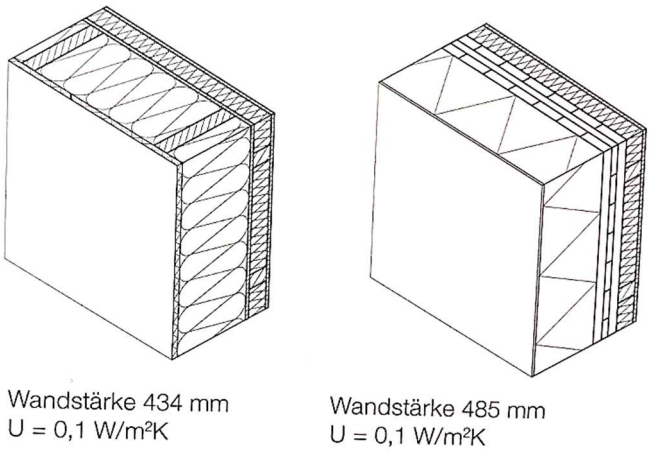
Na obrázcích č.13-15 je znázorněna závislost tloušťky stěny konstrukce na hodnotách prostupu tepla U. V závorce je uvedena orientační hodnota požadavku tepla na potřebu tepla na vytápění. Vlevo je vždy varianta pro lehké rámové panely, vpravo je skladba pro CLT panely. 3-Liter-Haus na obrázku č.14 je německý standard vztažený na potřebu 1 litru topného oleje pro vytápění. [12]



Obr. 13: *Skladba pro nízko energetický dům (50 kWh/m²a) Wandstärke – tloušťka stěny [12]*



Obr. 14: *Skladba pro 3-Liter-Haus (30 kWh/m²a) Wandstärke - tloušťka stěny [12]*



Obr. 15: *Skladba pro pasivní a energeticky plusové domy (<15 kWh/m²a) Wandstärke – tloušťka stěny [12]*

Stejně jako u zděných a betonových budov je pro dosažení nejvyšších standardů nutný komplexní návrh. Kvalitní návrh zohledňuje tyto body:

- umístění objektu vůči okolnímu terénu
- umístění objektu vůči světovým stranám
- stínění prosklených otvorů
- stínění celé budovy – zelení nebo dvojitou fasádou
- tepelný zisk ze slunečního záření v zimě
- funkční zateplovací systém s větranou vrstvou
- množství zeleně v okolí budovy nebo na budově
- využití obnovitelných zdrojů energie

- efektivní systém větrání a vytápění
- vodní plochy v okolí budovy

Tepelná izolace

Izolace na vnitřní straně obvodové konstrukce bývá zpravidla problematická a pokud to podmínky umožňují je dobré se jí vyhnout. Některé druhy staveb to však nedovolují, zejména u masivních dřevostaveb srubů a roubenek. V těchto případech se musí dbát na návrh podložený kvalitním stavebně fyzikálním výpočtem konstrukce. Většinou je řešením parozábrana s velkým difúzním odporem umístěné na líci předstěny. [10]

Lehké rámové dřevostavby mají výhodu dutého prostoru mezi nosnými sloupky a příčníky, který může být vyplněn izolací. Lehké rámové konstrukce tak dosahují menších tlouštěk oproti CLT panelům. Ve výpočtu prostupu tepla U je nutné zohlednit spoluúčast dřevěných sloupků jako tepelných mostů. Pro výplň dutého prostoru se využívají minerální izolace, foukaná celulóza, stlačená sláma a další přírodní izolace. Samotná konstrukce lehkého panelu většinou nevyhoví normovým požadavkům. Proto se také u dřevostaveb využívá kontaktních zateplovacích systémů. Dle požadavků se volí tloušťka izolantu a je doporučeno volit řešení s provětrávanou mezerou, ze stejných důvodů jako odvětráváme střechy. [1]

Dřevo jako přírodní materiál je vhodné izolovat přírodními izolacemi, a protože dnes již není cenový rozdíl tak značný jako v minulosti, jsou stavebníci ochotni přistoupit i na tato nová nekonvenční řešení. Z přírodních materiálů se dá realizovat jak tepelná, tak zvuková izolace. Ing. E. Ambrožová, PhD. ve své dizertační práci zpracovala porovnání konopných, konopno-rákosových, dřevovláknitých izolací, izolace z ovčí vlny se skelnou a minerální vatou. Přírodní materiály jsou podle Ambrožové srovnatelné svými fyzikálními vlastnostmi s klasickými izolacemi z minerálních vláken. Výměnou minerálních izolací za přírodní se dosáhne snížení environmentální stopy budovy. [23]

Neprůvzdušnost a difúzní odpor konstrukce

V dřevěných konstrukcích se musí uvažovat s migrací vodních par, které jsou škodlivé pro dřevěné prvky a negativně ovlivňují funkčnost obvodového pláště. Tyto dvě odlišné funkce se obvykle řeší v jedné vrstvě, která je umístěná na vnitřní straně obvodové konstrukce. Umístění na vnitřní stranu konstrukce je osvědčené a doporučené. Při návrhu obálky budovy je osvědčené používat materiály seřazené podle difúzního odporu od největšího po nejmenší ze směru z interiéru do exteriéru.

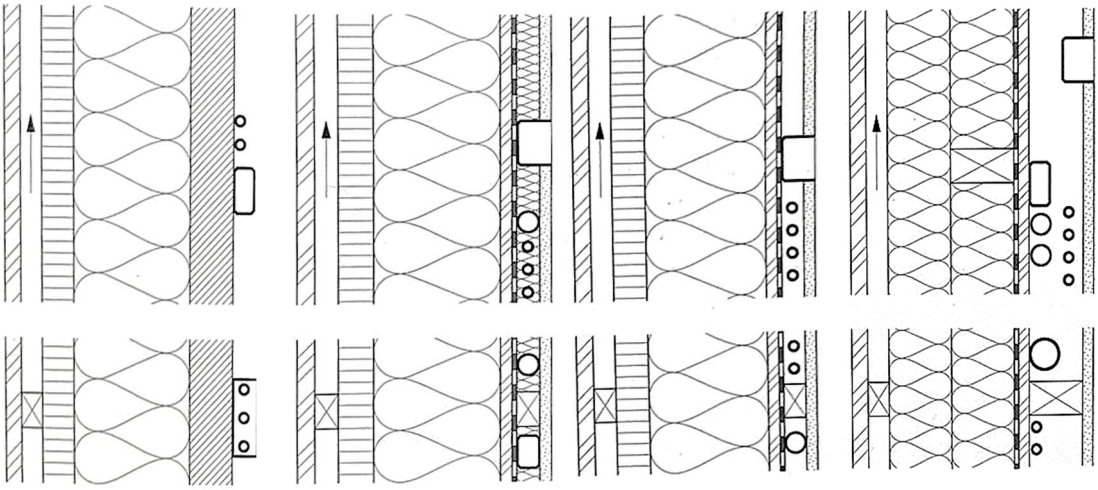
Protože při konvekčním proudění přes netěsnosti a prostupu vodních par přes konstrukci z teplého vnitřního prostředí do chladnějšího může docházet ke kondenzaci vodních par uvnitř konstrukce. [12]

Dnes se rozlišují mezi dvěma směry, jak řešit difúzní odpor konstrukce. Jedná se o difúzně otevřené a difúzně uzavřené skladby. Vše závisí na skladbě stěnové nebo střešní konstrukce, na vnitřním klimatu, na provzdušnění a na klimatických poměrech okolí. Společné pro oba druhy konstrukcí je schopnost odvodu vlhkosti jakéhokoliv původu – konvekce a difúze vodních par, vlhkost ze srážek. [1]

Difúzně otevřené konstrukce se odlišují, tím že mají natolik propustné vnější vrstvy pro vodní páru, že nepotřebují parozábranu na vnitřní straně. Součástí difúzně otevřených konstrukcí jsou provětrávané fasády s vrstvou s difúzním odporem jako je masivní dřevo nebo materiály na bázi dřeva. [1]

Difúzně uzavřená konstrukce se používá v případě nepříznivých vlhkostních podmínek v místnosti, pro neodvětrané střechy nebo při nedostatečné propustnosti vnějších vrstev. Nicméně i u difúzně uzavřených konstrukcí může být využito provětrávaných fasád. Funkci parozábrany splňují různé materiály – různé fólie, papíry, ale i deskové materiály jako jsou OSB, více vrstvé desky (CLT), překližky. [1]

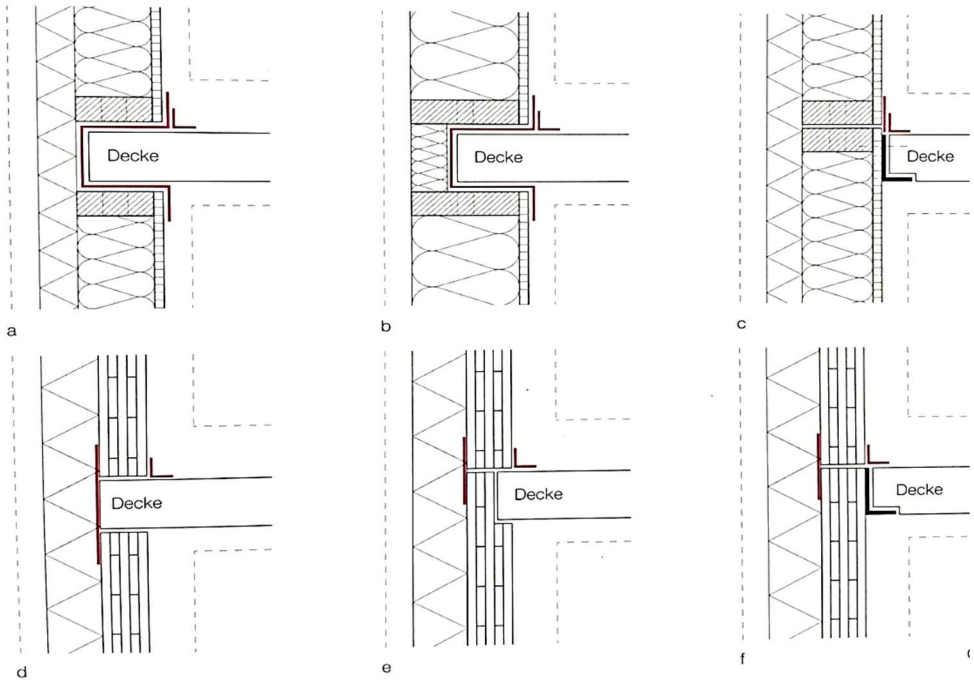
V obou případech musí být dosaženo neprůvzdušného těsnění konstrukce. Nedokonalé řešení těsnosti je jedno z nejčastějších vad dřevostaveb. Kritická místa jsou napojení konstrukčních prvků – stropy na stěny, otvory a prostupy ve stěnách nebo stěna na základovou desku. Neprůvzdušná vrstva se musí navrhovat jako celistvá, beze spár a musí být vždy zajištěno napojení na všechny konstrukce. Deskové materiály zajišťují vzduchotěsnost v ploše konstrukce a pro utěsnění konstrukce ve spojích se používají různé lepící pásky, parozábrany nebo lepící nátěry. Rozvody instalací tudíž musí být vedeny v předstěnách tak aby nenarušily celistvost neprůvzdušnosti konstrukce. Na obrázku č.16 jsou schémata obvyklých řešení předstěn lehkých panelů. [2]



***Obr. 16**: Schéma možných řešení předstěn v lehké rámové dřevostavbě [2]*

Velká a dlouhodobá vlhkost v konstrukci může napáchat spoustu škod. Vedle tvorby plísní a degradace materiálů způsobuje také tvarové deformace konstrukce. Dřevo svým bobtnáním a zpětným vysycháním z cela jistě působí jak konstrukční, tak i estetické problémy. [2]

Na obrázku č. 17 jsou znázorněny způsoby uložení stropních panelů na lehké rámové panely a CLT panely.



***Obr. 17:** Způsob uložení stropního panelu a řešení neprůvzdušnosti. Decke -strop [12]*

Akumulace tepla

Dřevostavby lze v zimě rychle vytopit, lze cítit účinek topení prakticky okamžitě. Naopak v létě lze dřevostavby rychle ochladit a dosáhnout komfortní teploty pro spánek. Tuto vlastnost mají dřevostavby díky nedostatečné akumulaci svých konstrukcí. Je to špatně nebo dobře? Odpověď není jednoduchá a zdaleka ne jednoznačná. Při této otázce spousta odborníku odpoví, „záleží, co od domu čekáte“ Rychlá reakce vnitřní teploty je ideální pro automatizované systémy topení, chlazení a větrání. Člověk může mít rád 22° C v době, když je v domě aktivní, v době spánku 18°C a při probuzení opět 22° C. Pro tuto situaci je rychlá reakce domu efektivní a vhodná. Na druhou stranu při výpadku otopné soustavy může dojít k rychlému poklesu a teplotnímu šoku. [24].

Velmi problematickou může být nedostatečná akumulace v létě při nadměrném přehřívání interiéru. To můžeme brát v budoucnu jako větší problém s ohledem na vývoj klimatických změn, kdy budou muset být budovy přizpůsobeny větším výkyvům počasí než dnes. Ochrana proti přehřívání se dá částečně řešit dostatečnou tloušťkou tepelné izolace a jak je uvedeno výše, vhodným zastíněním, umístěním vůči světovým stranám, okolnímu terénu atd.

Větší vrstva teplené izolace však nemusí znamenat zvýšení schopnosti akumulace tepla. Opomíjenou veličinou, která by měla být brána v potaz při volbě tepelné izolace je fázový posun. Definice fázového posunu teplotního kmitu zní: „*doba, která uplyne, než se izolantem naakumulovaná nejvyšší exteriérová teplota projeví v interiéru*“. Vyšší objemová hmotnost a měrná kapacita zvyšují hodnotu fázového posunu. Nejlepších hodnot dosahují izolace na bázi dřeva naopak nejhorší minerální izolace. Nabízí se možné účinné řešení, kombinace izolace na bázi dřeva uvnitř panelu a minerální izolace na vnější straně. [24]

Jako jednoduché a osvědčené řešení se nabízí využití masivních materiálů – zdivo, beton, kámen. Z těchto materiálu se můžou uvnitř dřevostaveb navrhnout předstěny, akumulační stěny, masivní obklady. Předstěny a obklady nesmí být odstíněny tepelnou izolací a být vždy umístěny na vnitřním povrchu obvodové konstrukce. Pro akumulační schopnost je nutná určitá tloušťka min. 10-15 cm. Tudíž vápenná omítka silná 1-2 cm nemá z hlediska akumulace význam. [10]

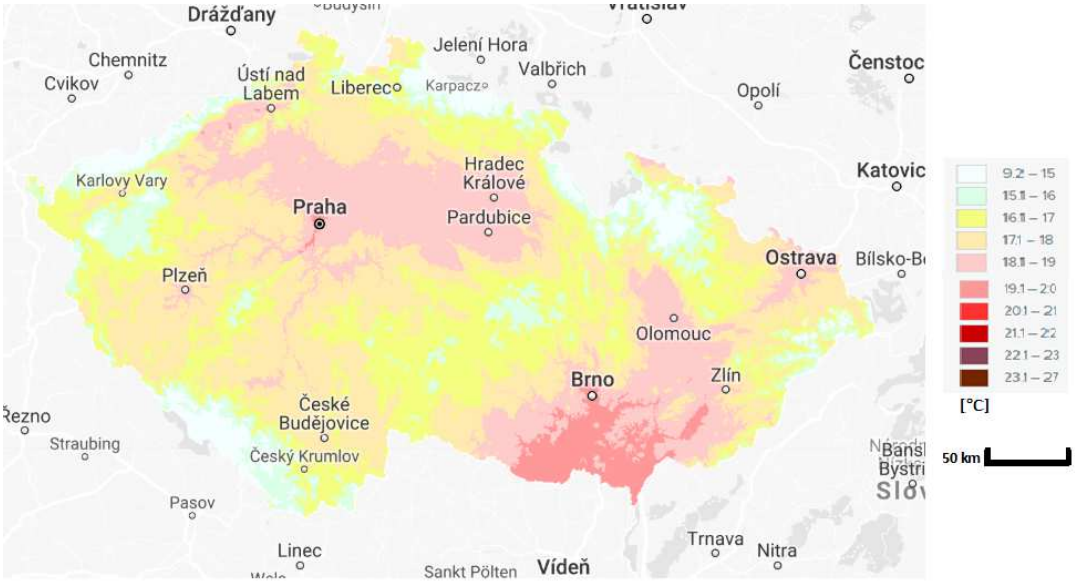
Dále se nabízí využití akumulačních zásobníků mimo konstrukci budovy, obdobu zásobníků na TUV a tam přebytky tepla ukládat. Pro chlazení je možné využít

zemní výměníky. Je to beze sporu jedna z cest, jak řešit vytápění nebo chlazení budov, ale neřeší samotnou akumulaci konstrukce. [10]

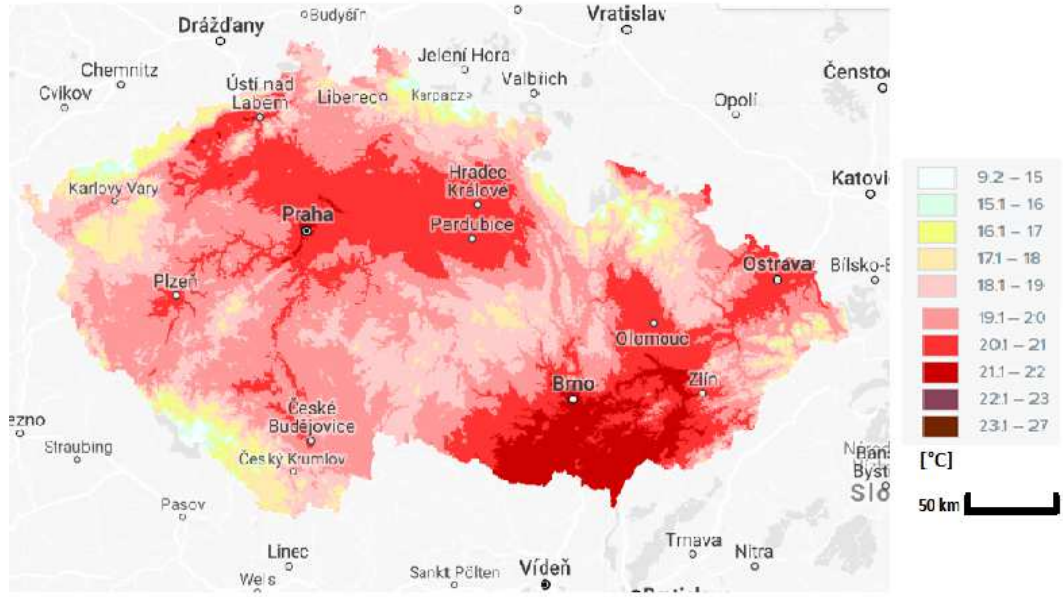
F. Stazi a kolektiv pospali ve své studii, možnosti řešení akumulace tepla a snížit tak přehřívání budov u středozemního moře. Otestovali možnosti předstěny z cihel nebo hliněných desek, které nahradily sádrokartonové desky. V kombinaci s přirozeným, hybridním větráním nebo mechanicky řízeným větráním s přídavným chlazením mohou dokázat snížit počet dní s nekomfortním přehřátým vnitřním prostředím o cca 50 % v mírném podnebném pásu, o 31 % subtropickém prostředí a o 6 % v pouštním klimatu. [25]

Novým a stále vyvíjejícím se způsobem, jak zvýšit schopnost akumulace dřevěných lehkých konstrukcí je použití materiálů s vhodným fázovým přechodem. Fázový přechod, nastává při změnách skupenství např. z pevného na kapalný, kdy se mění veškeré fyzikální vlastnosti látky, za konstantní teploty. Při zkoumání této možnosti byly objeveny materiály, s vhodnou teplotou tání při pokojové teplotě okolo 21°C. Jsou to materiály na bázi parafínu, mastných kyselin a hydráty vápenných solí. Z ekonomického hlediska a zdravotní nezávadnosti byla vybrána směs $CaCl_2*6H_2O$ a $MgCl_2*6H_2O$. Bylo zkoumáno několik možných aplikací kdy směs vápenného hydrátu byla zatavena do platových polštářů ve velikosti pro vhodné uložení uvnitř stěny, stropu a podlahy. Výsledky ukázaly signifikantní stabilizaci vnitřní teploty. Nabízí se vhodné spojení s nízko potencionálním zdrojem vytápění nebo chlazení. [26]

Na následujících obrázcích č.18 a č.19 je zobrazen odhad vývoje průměrné letní teploty. První obrázek je průměrná letní teplota mezi lety 1981-2010 a druhý odhad v roce 2050. Nové budovy navržené na 50 let se musí tomuto středně pesimistickému odhadu přizpůsobit. Dá se předpokládat, že mnohem větší důraz bude v budoucnu kladen na ochranu před přehřátím. [27]



Obr. 18: *Průměrná letní teplota v ČR mezi lety 1981-2010 [33]*



Obr. 19: *Odhadovaná průměrná letní teplota v roce 2050 [33]*

3.2.3 Protipožární požadavky

Požadavky na požární bezpečnost staveb a stavebních výrobků vyjadřují veřejný zájem a jsou v ČR jsou obsaženy ve stavebním zákoně v § 156 odst. 2 zákona č.183/2006Sb. Tento odstavec odkazuje na technické požadavky na stavby a patří mezi ně i požadavky na požární bezpečnost. Všechny stavby musí být navrženy, postaveny a provozovány podle Zákona o požární ochraně č.133/1985 [10]

Mezi hlavní cíle požární bezpečnosti staveb patří:

- splnit požadavky na požární odolnost. Požární odolnost určuje dobu v minutách, po kterou musí navržené konstrukce odolávat účinkům požáru při zachování požadovaných vlastností a mezních stavů
- zajistit bezpečný evakuaci a ochranu osob, zvířat a majetku
- zamezit šíření požáru uvnitř objektu mezi jednotlivými požárními úseky
- zabránit přenesení požáru na sousední objekty
- umožnit jednotkám požární ochrany vedení rychlého, bezpečného a účinného protipožárního zásahu [10]

Kritéria požární odolnosti

Konstrukční prvky musí podle své polohy a umístění v objektu poskytovat požadovanou požární odolnost. Konstrukční prvky se mohou skládat z jednoho nebo z více materiálů. Příslušná kritéria požární odolnosti jsou rozdělena podle mezních stavů požární odolnosti. [1]

- R – únosnost a stabilita
- E – celistvost
- I – izolační schopnosti
- W – omezení radiace tepla

Dle požadavků příslušných norem lze požadavky na mezní stavy kombinovat, poté se lze setkat např. s:

- EI – konstrukce požárně dělící (nenosné příčky)
- REI, REW – konstrukce nosné i požárně dělící (stěny / stropy)

Příklad ostatních a doplňkových mezních stavů:

- S – kouřotěsnost (převážně u požárních uzávěrů)
- M – konstrukce odolávající mechanickému namáhání

- C – samozavírací funkce (převážně u požárních uzávěrů)

Doba požární odolnosti se může v jednotlivých zemích lišit. V souladu s českými technickými normami se jedná o časy: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 a 240 minut.

Třídění podle reakce na oheň

Stavební hmoty jsou zařazeny do tříd reakce na oheň v souladu s § 6 Vyhlášky o technických podmínkách požární ochrany staveb 23/2008 Sb. Třídy A1 a A2 jsou nehořlavé, ostatní třídy přispívají v různé míře k hoření. Více podle tabulky č.1. [28]

Tab. 1: *Třídy reakce na oheň stavebních výrobků [28]*

Třída reakce na oheň		Orientační příklad výrobku
Nehořlavé výrobky	A1	výrobky z keramiky, skla, kovu, betonu, tepelně izolační deska z minerálních vláken
	A2	sádrokartonová nebo sádrovláknitá deska
Hořlavé výrobky	B	kontaktní zateplovací systém s hořlavým tepelným izolantem (např. expandovaný polystyren), vinylové podlahy, cementotřískové desky
	C	tepelně izolační deska z fenolické pěny
	D	konstrukční dřevo, desky na bázi dřeva
	E	tepelně izolační deska z polyuretanu nebo expandovaného polystyrenu (s retardéry hoření)
	F	výrobky, u kterých třída nebyla stanovena

Stavební konstrukce jsou ve velké míře kompozitní materiály skládající se z několika materiálů. Pro účely staveb byly vytvořeny tři třídy stavebních prvků nebo dílců – DP1, DP2, DP3. Třídění je podle následující tabulky č.2.[10]

Tab. 2: *Třídění konstrukčních částí*

Hledisko pro třídění konstrukčních částí	Konstrukční částí druhu		
	DP1	DP2	DP3
vliv hořlavých hmot na intezitu požáru	ne	ne	ano
vliv hořlavých hmot na stabilitu a únosnost konstrukčních částí	ne	ano	ano

Stavební výrobky s nosnou konstrukcí ze dřeva jsou klasifikovány do třídy DP2. I když je panel několikanásobně opláštěn protipožárním prvkem, pořád se kvůli nosné konstrukci ze dřeva řadí do DP2. Tato skutečnost je dána špatným výkladem norem. Další faktor nedokonalosti požární norem, že třídění konstrukcí podle druhů konstrukčních částí západní Evropa nezná. [29]

Omezující faktory dřevostaveb jsou tyto:

- Požární výška
- Odstupové vzdálenosti

Požární výška objektu, zjednodušeně řečeno, je měřená od podlahy 1. nadzemního podlaží k podlaze posledního užitného nadzemní podlaží. [10] Maximální povolená výška pro dřevostavby je 12 metrů, což odpovídá pěti nadzemním podlažím. [29]

Problém dřevostaveb při posuzování odstupové vzdálenosti je zařazení vnější strany obálky budov do třídy DP3. Toto zařazení se také označuje jako konstrukce s požárně otevřenými plochami. U těchto konstrukcí může docházet k odpadávaní hořících kusů. Při této situaci mohou být v ohrožení okolní budovy a je nutné určit odstupové vzdálenosti v souladu s § 11 Vyhlášky 23/2008 Sb. a poté v požárně bezpečnostním řešení vymezit požárně nebezpečný prostor. Dle normy ČSN 73 0802 nemá tento prostor zasahovat ani na sousední pozemek. [30] Podle pana Kuklíka jsou některá kritéria přehnaná a cíl současného výzkumu je stávající praxi v hodnocení odstupových vzdáleností dřevostaveb zmírnit. [29]

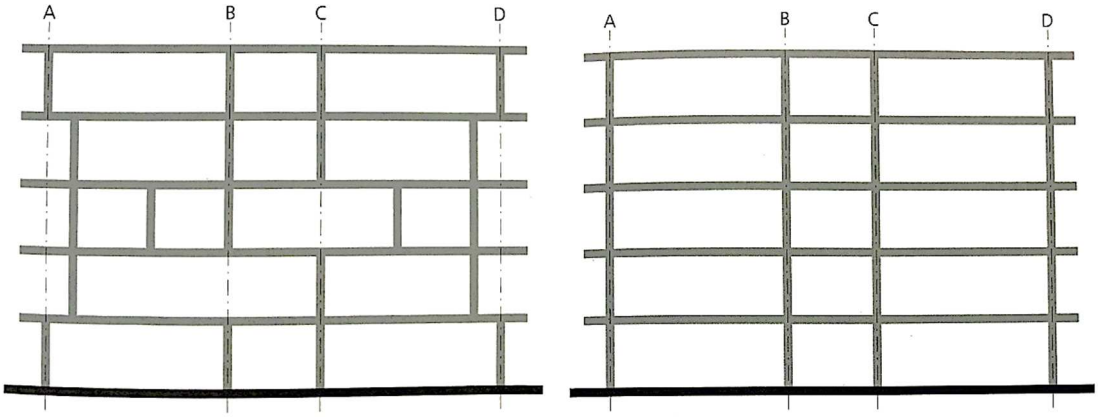
Výhodou dřeva z hlediska požární odolnosti je jeho odhořívání. Rychlost odhořívání záleží na typu dřeva, normově 0,8 mm/min. Nevýhodou dřeva je ztráta jeho nosných a stabilitních vlastností spočívá v důsledku zmenšování průřezu, nikoliv vliv teploty. V porovnání s ocelovými konstrukcemi to je přesně naopak. [12]

3.2.4 Statické požadavky

Dřevostavby musí odpovídat požadavkům ČSN EN 1995-1-1(2006) - Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Dále musí být navrženy na zatížení podle ČSN EN 1991 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. [10]

Pro modelování dřevostaveb je beze sporu vhodný některý z nabízených BIM softwarů. U takto složitých kompozitních konstrukcí je nutné používat program, který nabídne statikovi 3D prutový model. Ve výpočtu se započítává působení desek, které zajišťují plošnou tuhost stěny. [31]

Pro dřevostavby je vhodný jednoduchý konstrukční návrh, takový, aby na sebe stěny v jednotlivých podlažích navazovaly. Příklad na obrázku č.20, vlevo je nevhodný systém, vpravo vhodný.



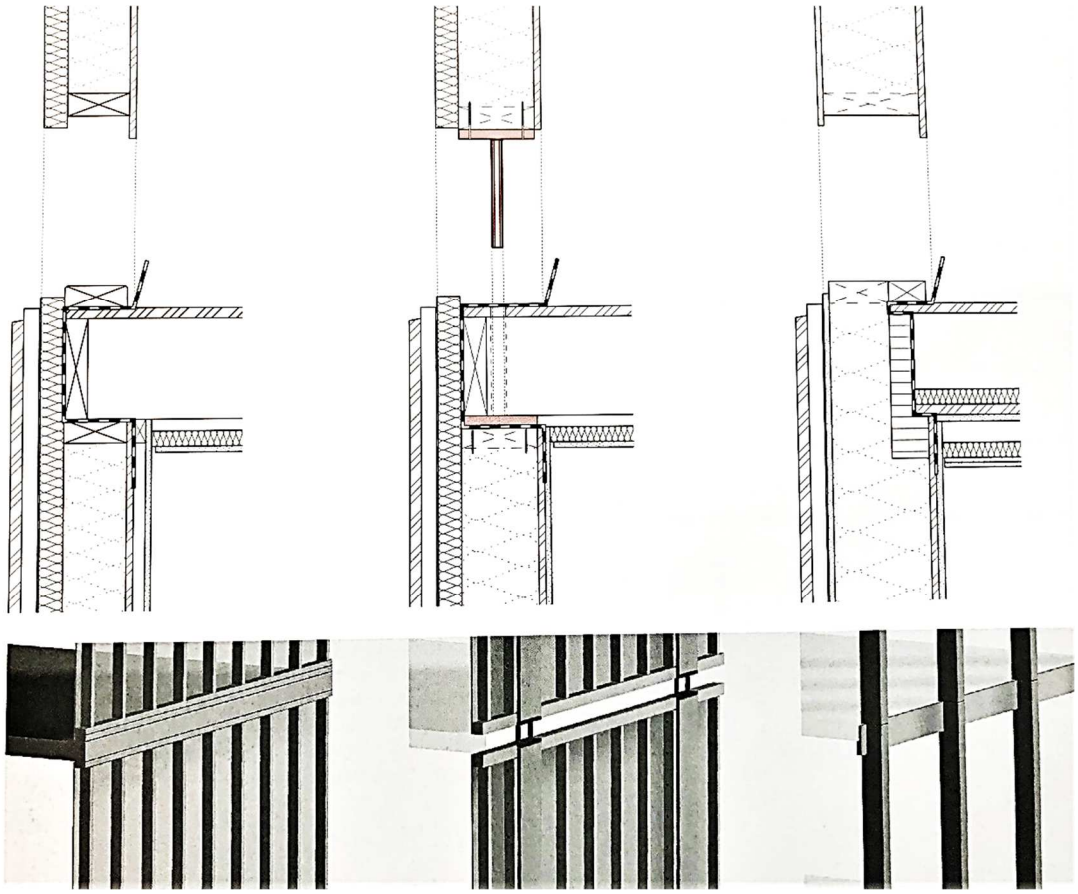
Obr. 20: *Nevhodné (vlevo a vhodné (vpravo) uspořádání nosných stěn [1]*

Svislé zatížení

Z technologického hlediska může být vážný problém sedání konstrukce, způsobené sesycháním a tlakovým zatížením směrem kolmo k vláknům. Tento problém se může řešit použitím ocelových, obecně kovových prvků. Nicméně použitím ocelových prvků vytvoříme tepelný most v konstrukci. U vyšších staveb to může být nevyhnutelné řešení pro vysoce namáhané spoje. Svislé zatížení přenášené pomocí prahů, stropu nebo horních trámů je doporučené maximálně pro budovy s maximálně třemi nadzemními podlažími. [1]

V prefabrikovaných panelových dřevostavbách se většinou do statického výpočtu započítávají všechny svislé konstrukce. To značně komplikuje změnu dispozice v průběhu užívání stavby. [1]

Příklady konstrukčního řešení přenášení je vidět na obrázku č.5. Další možná řešení jsou představena na obrázku č.21. Vlevo je napojení, kde svislé síly přenáší prahy panelu. Napojení uprostřed je přes ocelový element a přes který jsou svislé síly přenášeny nosných sloupů. Vpravo je svislé zatížení přenášeno přes průběžné sloupy. V každé variantě je zakreslena fólie k zajištění neprůvzdušnosti. [1]



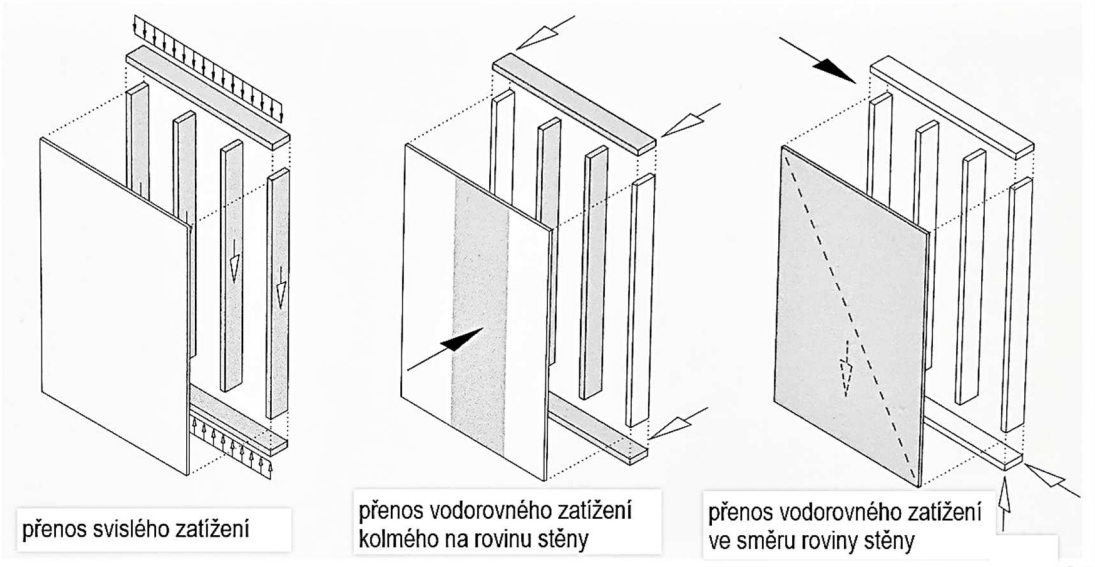
Obr. 21: *Napojení a přenos svislých sil [1]*

Vodorovné zatížení a tuhost konstrukce

Vodorovné zatížení je přenášeno stropními konstrukcemi do jader nebo ztužidel. Díky moderním technologiím je možné vytvořit dostatečně tuhé vodorovné konstrukce.

Jako u masivních staveb se řeší prostorová tuhost masivním jádrem, např. schodišťovým tělesem a výtahovou šachtou. U vyšších staveb je žádoucí tyto konstrukce stavět ze zděných a betonových prvků. U nižších staveb je možné zajistit prostorovou tuhost ocelovými táhly kotvených do základů.

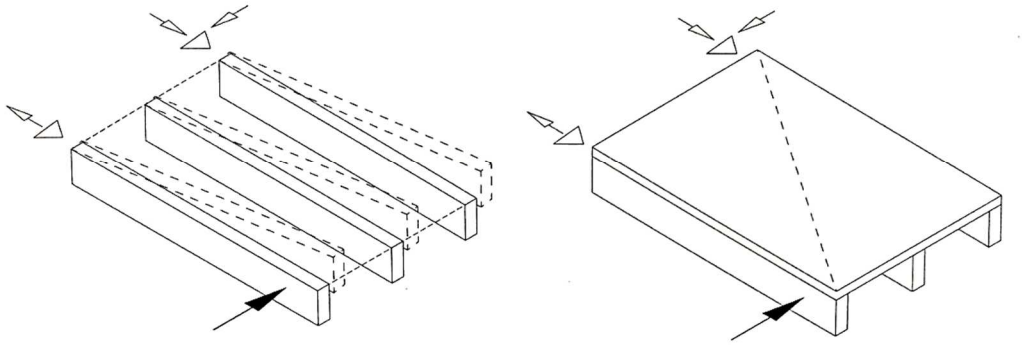
Na obrázku č. 22 upraveném podle [12] je popsán přenos sil v lehkém rámovém panelu. V porovnání s CLT panely je zřejmé, proč jsou lehké rámové panely méně únosné. CLT panely přenáší všechny síly celou svoji plochou a průřezem. [12]



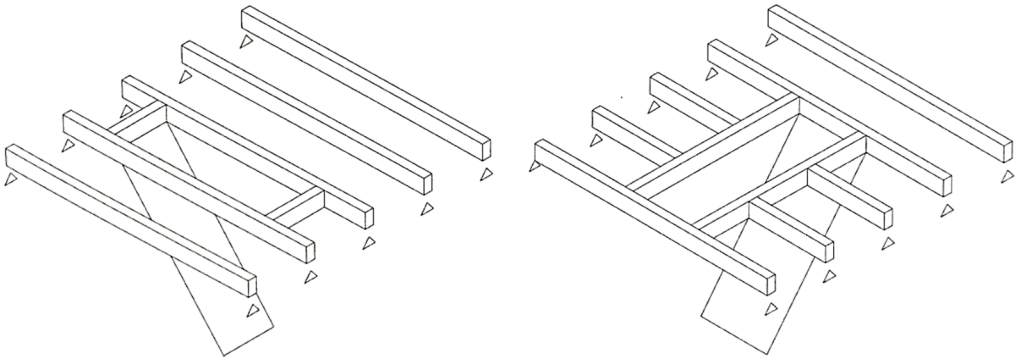
Obr. 22: *Přenosy zatížení v lehkém rámovém panelu [12]*

Pro zajištění dostatečné tuhosti stropní konstrukce je potřeba uvážit možnosti daných systémů. Tuhost trámového stropu zajišťuje jako u stěn opláštění – horní a dolní záklop – obrázek č.23. Další možnosti jsou tzv. skříňové stropy, který je tvořen křížem ložených trámů zaklopených z horní i dolní strany masivní deskou. Skříňové stropy jsou často využívány u systému s CLT panely, i když z CLT panelů lze vyrábět i stropní desky. Pro největší rozpony se používají konstrukce spřažené s betonem.

Na obrázku č.24 je zobrazen trámový strop, který je vhodný na maximální rozpony6 metrů. U trámových stropů z KVH hranolů je nutné vhodně umístit otvory pro schodiště a další prostupy. Při nevhodném umístění je nutné okolní trámy prostupů zdvojit nebo vyměnit za únosnější materiál, jako jsou BSH hranoly nebo ocelové profily. [12]



Obr. 23: *Záklop trámového stropu zajišťuje jeho tuhost [12]*



Obr. 24: *Vlevo vhodné umístění prostupu stropní konstrukce, vpravo nevhodné [12]*

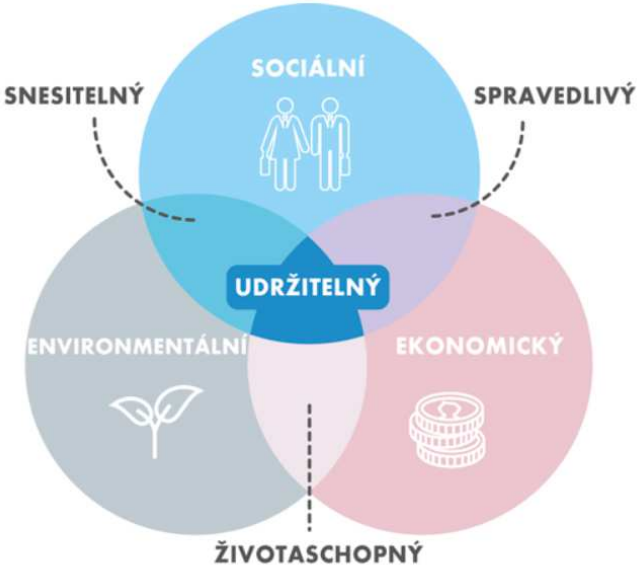
Na obrázku č.25 je projekt Hummelkaserne v Rakouském Štýrském Hradci. Jako ztužující prvek bylo navrženo železobetonové schodiště.

Obr. 25: *Bytový dům Hummelkasserne z masivních dřevěných panelů [16]*

3.3 Environmentální dopad

3.3.1 Teorie trvale udržitelného rozvoje

Trvale udržitelný rozvoj je takový, který dokáže uspokojit potřeby současné generace a zároveň nesnižovat možnost uspokojit potřeby generace budoucích. Základem trvale udržitelného rozvoje jsou tři základní pilíře – Sociální, Ekonomický, Environmentální. Takový přístup k produkci nových výrobků se nazývá cradle to cradle - C2C (od kolébky do kolébky).[32]



Obr. 26: *Schéma trvale udržitelného rozvoje [30]*

Snahou C2C je, aby byly suroviny znovu využitelné. Vzniká tak cirkulární ekonomika, kdy hledáme nové využití pro vyřazené výrobky nebo je zajištěna možnost rozebrání a vznik nové vstupní suroviny. Jako inspiraci si tato filozofie bere přírodu. V průběhu evoluce se vždy všechny organismy a celé ekosystémy přizpůsobovaly lokálním podmínkám. Tento směr se nesoustředí pouze na vztah člověka s přírodou, ale také zohledňuje kvalitu života lidí a zvířat a ekonomiku. [33]

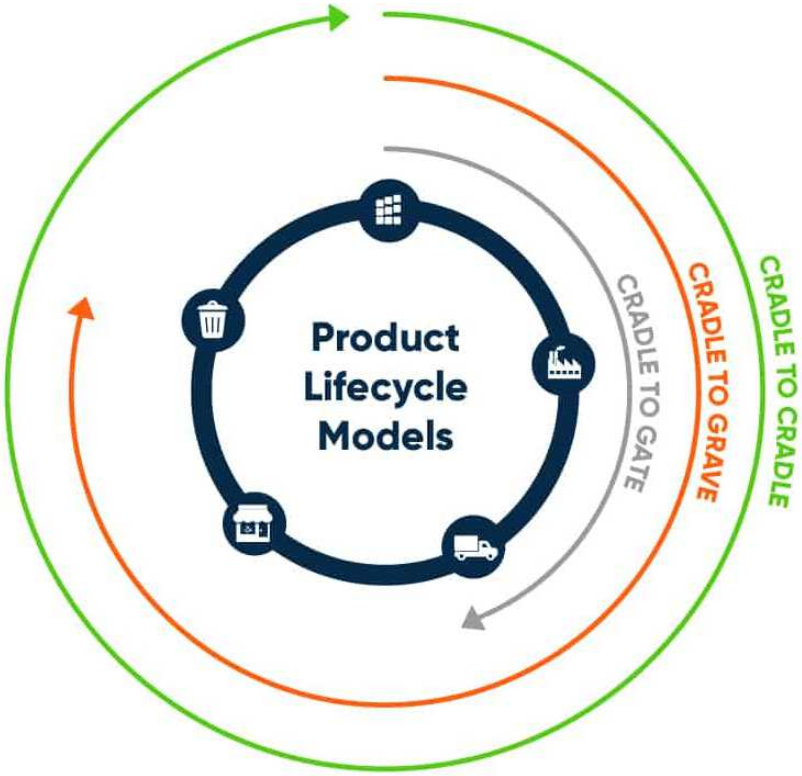
Cradle to Grave (z kolébky do hrobu) používáme v případě, že není způsob pro znovuvyužití materiálů. Výrobek je na konci své životnosti převezen na skládku nebo do spalovny. [34]

Cradle to Gate (od kolébky k bráně) sleduje ekologickou stopu od prvotní suroviny až po ukončení výroby k bráně továrny před dodáním zákazníkovi. Tento výpočet nezohledňuje fázi užívání a odstranění. Tento přístup se většinou používá pro zpracování EPD (Environmental Product Declarations), který ve vztahu business to business k doložení o ekologickém dopadu během výroby. [34]

Model životního cyklu zobrazený na obrázku č.27 má pět fází.

- Zisk surového materiálu,
- Výroba,
- Logistika,
- Používání,

- Odstranění.



Obr. 27: *Model životního cyklu a jednotlivých fází [32]*

3.3.2 Veličiny pro popis environmentální dopadu

Uvedené veličiny se používají pro vypracování analýzy životního cyklu LCA (life-cycle assessment), jako základního dokumentu pro získaní certifikací o environmentálním dopadu výrobků. Výrobci musí pro získání certifikátů zajistit akreditované měření a výpočet těchto veličin. [35] Parametry dělíme na dvě skupiny, environmentální a technické.

<u>Environmentální parametry</u>

- Spotřeba primární energie - PEI [MJ] (Svázaná energie). Udává celkovou spotřebu přírodních zdrojů během životního cyklu výrobku.[36]
- Potenciál okyselování prostředí - AP [g $SO_{2,ekv.}$] (Svázané emise $SO_{2,ekv.}$). AP udává ekvivalentní emise během celého LC způsobující okyselování prostředí. Ekvivalentní znamená, že hodnoty ostatních skleníkových plynů, které mají podobný efekt jako SO2, jsou do výpočtu připočteny. [36]

- Potenciál globálního oteplování - GWP [kg $CO_{2,ekv.}$] (Svázané emise $CO_{2,ekv.}$) Stejně jako u AP jsou k výpočtu celkové produkce uhlíku připočítány i ostatní plyny stejným účinkem jako CO2. [36]
- Potenciál tvorby přízemního ozónu - POCP [g $C_2H_{4,ekv.}$]. Ekvivalentní emise etylenu C2H4 během celého LC.
- Potenciál ničení ozonové vrstvy - ODP [g $CFC_{2,ekv.}$]. Emise CFC-11 chlor-fluorovaných uhlovodíků vyprodukované po dobu LC.
- Potenciál eutrofizace prostředí - EP [g PO_4^{3-} ekv.]. Množství emisí z odpadních vod uniklých během LC, které způsobují nadměrné zvyšování živin v půdách a vodách.[36]

Technické parametry

- Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK].
- Součinitel prostupu tepla U [W/m^2K]
- Hmotnost m [kg] [28]

3.3.3 Certifikace

Stavebníci mají možnost svou budovu certifikovat a prokázat splnění určitého standardu. Ve stavebním průmyslu to nic nového, ale na našem trhu si certifikace stále hledají své místo pro plošné uplatnění. Certifikátů existuje celá řada a téměř každá větší země ve vyspělé části světa má svůj vlastní. V současné době jsou na českém trhu tři druhy. [37]

- SBToolCZ
- LEED
- BREEAM

Každý certifikát má svoji vlastní metodiku komplexního hodnocení přizpůsobenou místním podmínkám, kde vznikl. Nicméně LEED a BREEAM byly první na světě a staly se celosvětově rozšířenými. Jsou inspirací pro lokální certifikáty tak jako pro český SBToolCZ. Hodnocení se skládá z několika kategorií, emise skleníkových plynů, zdraví a pohoda, energetická účinnost, znečištění, nakládání s odpady, využití pozemku, nakládání s odpady, sociální dopady stavby nebo kvalita lokality. Všechny certifikáty mají však společné cíle. [37] [38]

- Poskytnutí ekonomické výhody oproti konkurenci.
- Dává jistotu uživatelům budovy, že jsou použity osvědčené a vyzkoušené principy udržitelnosti a ekologické šetrnosti.
- Snižuje provozní náklady a zvyšuje hodnotu nemovitosti.
- Inspirace pro hledání inovativních řešení se snahou snížit negativní dopad na životní prostředí.
- Zlepšuje komfort v budovách.
- Certifikát poskytuje záruku kvality.
- Vhodný nástroj pro marketing stavební společnosti.

SBToolCZ jako český certifikát který v porovnání s britským BREEM a americkým LEED zohledňuje místní klimatické, stavební a legislativní poměry, a hlavně je levnější. Pro českého uživatele je srozumitelný, jelikož je veden v češtině. Pro vydání certifikátu SBToolCZ jsou autorizované dva certifikační orgány – Technický a zkušební ústav Praha, s.p. (TZÚS Praha, s.p.), Výzkumný ústav pozemní staveb – Certifikační společnost, s.r.o. (VÚPS). Posouzení pro LEED a BREEAM vyžaduje zapojení pracovníků s jejich kvalifikacemi. [37] [38]

EPD

Jako podklad pro zpracování certifikátů budov slouží certifikáty stavebních výrobků a materiálů. Tento dokument se nazývá enviromentální prohlášení o produktu – EPD (Environmental Product Declaration). EPD popisuje dopad výrobku na životní prostředí, spotřebu zdrojů a tvorbu odpadů po celou dobu jeho životního cyklu. Jedná se zatím o dobrovolné certifikáty, které získávají čím dál větší váhu v B2B komunikaci. [32]

Výrobce materiálu si sám rozhodne, v jakém rozmezí nechá svůj výrobek posoudit. Jsou možné všechny tři varianty – od kolébky k bráně, od kolébky do hrobu, od kolébky do kolébky. [32]

3.4 Recyklace, skládkování a spalování

Recyklace

V poslední fázi životního cyklu budov se řeší zásadní otázka, jak se naloží se vzniklým odpadem. Ideální cestou podle principu trvale udržitelného rozvoje je znovu využití materiálu a uzavřít kruh cirkulární ekonomiky od kolébky do kolébky (cradle to cradle), jinými slovy – vnímat odpad jako zdroj, protože nejlepší odpad jen ten, který

vůbec nevznikne. A když už vznikne, tak aby byla snaha ho v místě znovu využít nebo zlikvidovat. Pro lepší pochopení znovu využití materiálů rozlišujeme tři způsoby. [33]

- Recyklace
- Upcyklace
- Downcyklace

Recyklace je obecně velmi dobře známý pojem. Jedná se o znovu získání základních plnohodnotných surovin pro výrobu nového materiálu. Teorie recyklace je velmi jednoduchá, avšak v některých případech velmi nákladná až nemožná. Týká se to zejména kompozitních materiálů, kdy se vylepšené materiály různými umělými přísadami stávají velmi obtížně nerozložitelné. Na první pohled se vylepšený materiál stává po konci své funkce nebo životnosti velkou zátěží. Naopak, některé materiály nelze využívat do nekonečna, např.: má jen několik recyklačních cyklů oproti sklu, které lze teoreticky recyklovat do nekonečna.[33]Typickým příkladem jsou PET lahve a další plasty, ze kterých se získávají suroviny pro výrobu nových věcí.

Upcyklace je nalezení způsobu využití věcí a materiálů bez náročného procesu recyklace a tím zvýšení jejich materiálů. Jako příklad jsou různé umělecké předměty ze starých materiálů. [33] U dřevostaveb je to například využití dřeva jako konstrukční dřevo pro jiné objekty.

Downcyklace je naopak zpracování surového odpadu bez náročného procesu recyklace a dosáhnout alespoň nějakého využití s menší hodnotou. Typickým příkladem je kompostování bioodpadu nebo spalování dřeva k výrobě TUV. [33]

Recyklace stavebních materiálů

Stavební demoliční odpad (SDO) je definovaný vyhláškou č.93/2016 Sb. Tato vyhláška má přílohu, která rozděluje odpad do 20 tříd podle jeho vzniku. Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst spadá pod číslo 17. [39]

Recyklaci SDO dělíme dle:

- Stavební sutě
- Betony a železobetony
- Dřevní odpad
- Sklo

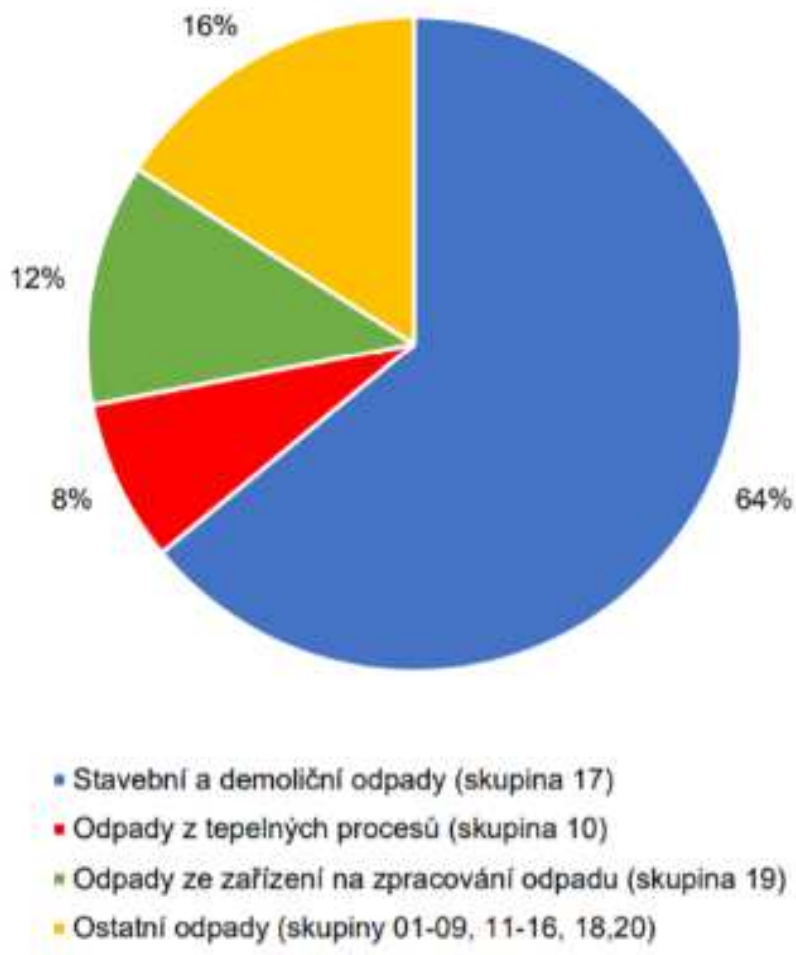
- Asfaltové směsi
- Zeminy
- Materiály na bázi sádry atd. [40]

Potenciál recyklace a znovuvyužití se objevuje v EPD jako poslední fáze hodnocení LCA. Hodnoty environmentálních parametrů bývají se záporným znaménkem, to znamená, že dochází k znovu využití materiálu nad jeho navrhovanou životností. Se znovu využitím se šetří zdroje a energie nutné pro výrobu nových materiálů. Jenže pro EPD si každý výrobce určuje vlastní hranice výpočtu. Výpočet může být od kolébky k bráně, od kolébky do hrobu, od kolébky do kolébky. LCA v rozmezí od kolébky k bráně a od kolébky do hrobu vůbec nezahrnují recyklaci, nejvýše odpad z vlastní výroby. [32]

Skládkování

Stavební odpad má největší podíl na skládkovaném materiálu. Jak můžeme vidět na následujícím grafu č.4 produkce podnikových odpadů v roce 2016, je to více než 60%. V číselch to je více než 10,1 miliónů tun odpadu. [40]

V roce 2019 byl za velkého pozornosti veřejnosti a médií posunut zákaz skládkování komunálního odpadu na rok 2030. Někdy lze slyšet mylný názor, že se tohle nařízení bude týkat i stavebního odpadu. Stavební odpad společně s nebezpečným odpadem spadají do kategorie, pro kterou tohle nařízení platit nebude. [41]



Graf 4: *Složení podnikových odpadů v roce 2016 [39]*

Spalování

Spalování dřeva, materiálů na bázi dřeva, obecně biomasy je považováno za uhlíkově neutrální. Do vzduchu je vypuštěno stejné množství uhlíku jako bylo během růstu rostlin pohlceno. Z nevyužitého dřeva lze vytápět domácnosti nebo i větší celky. V moderních kogeneračních jednotkách se při spalování vyrábí elektrická a tepelná energie. Ve městě Güssing dosahuje kogenerační spalovna biomasy výkonu 2MW při výrobě elektrické energie a současně 4,5 MW tepelné energie. [42]

Problém u spalování stavebního dřevěného odpadu jsou použité retardéry hoření. Pro dřevařské výrobky se většinou používají anorganické zpomalovače na bázi hydroxidu hlinitého a oxidu antimonu. Ionty Al3+ a oxidy hliníku negativně působí na růst a vývoj rostlin. Může se ukládat v kostech a při vysokých dávkách je neurotoxický.[43]

3.5 Ekonomika dřevostaveb

Tato diplomová práce se soustředí na hledání konstrukčních specifik dřevostaveb a jejich environmentálním a ekonomickým porovnáním. V této kapitole jsou pospány pohledy ze 3. základních perspektiv, stavební firmy, developerů a uživatelů dřevostaveb. Volbou mezi dřevostavbou a masivní konstrukcí ovlivňuje náklady v těchto kategoriích.

- Základy včetně zemních prací. Dřevostavby jsou lehčí, lze tedy předpokládat že náklady na zřízení základů budou menší. Tento rozdíl však v této práci nezohledňuji. Cenový podíl základů je u vícepatrového bytového domu 6 %. [44]
- Svislé konstrukce. Cenový podíl na celkové ceně je 18,8 %.[44]
- Stropy. Cenový podíl na celkové ceně je 8,2 %.[44]
- Úpravy vnitřních povrchů. Zde lze u domů suché výstavby očekávat menší náklady a rychlejší provedení. Cenový podíl je 6,9 %. [44]
- Úpravy povrchů vnějších. U fasádních systému záleží na volbě, jaký systém zvolíme. Cenový podíl je 3,10 %. [44]

Volbou konstrukčního systému můžeme přímo ovlivnit až 45 % nákladů stavebního díla.

3.5.1 Pohled dodavatelů staveb

V této části budu uvažovat pouze prefabrikaci. Stejné předpoklady platí pro lehké rámové panely a CLT panely. Ukazatele pro rozpočtování dřevostaveb najdeme v ÚRS v oddíle 763 – Konstrukce suché výstavby. V pododdílu A02 – Konstrukce montované z dílců a panelů jsou cenové hladiny pouze montáž panelů a přesun hmot. Na montáž panelů je podle ÚRS potřeba 1 dělník a 1 dělník v tarifní třídě 2 a skupině 2, 1 strojník a 1 montér v tarifní třídě 2 skupině 3, 1 montér v tarifní třídě 3 a skupině 2. Celkově má četa 5 pracovníků a 1 autojeřáb s doporučenou nosností 40 t. Stanovení rozpočtových nákladů na prefabrikaci panelů si musí každý dodavatel dřevostaveb vytvořit sám podle svých místních podmínek, stupni prefabrikace a skladby samotného panelu. Takováto kalkulace je součástí praktické části této diplomové práce. Avšak ÚRS Praha, a.s. vydává v edici „Vím za kolik“ publikaci Ceny realizace dřevostaveb.[45] Jsou zde uvedeny rozmezí cen, kde by se jednotlivé typy konstrukcí měly pohybovat. U této publikace dochází každý rok k průběžné aktualizaci.

Díky prefabrikaci se zvyšuje produktivita a tím i možnost většího obratu společnosti. Prefabrikace také zaručí vyšší kvalitu dodaného díla a tím i menší náklady na reklamace. Nicméně s prefabrikací se zvyšují náklady na prováděcí projekt, který už spadá do nákladů dodavatele nikoliv stavebníka. Režijní náklady se s rychlejší výstavbou snižují, nutné je však započítat režijní náklady na prefabrikaci.

Prefabrikace a suchá výstavba jsou pro pracovníky čistější prací. V panelárně je při prefabrikace jednodušší kontrolovat pracovníky, jestli dodržují zásady BOZP. Při výstavbě jsou následně menší náklady na opatření kolektivní ochrany. Díky čistší a bezpečnější práci lze předpokládat, že se stavební společnosti sníží náklady na nemocné a zraněné zaměstnance. Nebezpečná práce na staveništi, odrazuje dnes spoustu potencionálních pracovníků a přispívá k nedostatku pracovníků ve stavebním průmyslu. [46]

3.5.2 Pohled developera a finančníků

Pro investory do developerských projektů je jeden z nejdůležitějších faktorů doba návratnosti jejich investice, čím rychlejší návratnost, tím větší ziskovost. Je to dáno inflací, kdy investor dostane zisk s menším zatížením inflací. Dále je to kratší doba, kdy se investoři musí opírat o úvěry a s nimi spojené úroky. Čím kratší doba úvěru, tím kratší doba placení úroků. Tyto skutečnosti se promítnou do vyššího vnitřního výnosového procenta IRR (internal rate of return). IRR popisuje kolik nám investice vydělá při zvážení časové hodnoty peněz. IRR může být nástrojem k investičnímu rozhodování. [47]

Developer obvykle po dokončení hrubé stavby, s tím spojené prohlášení vlastníka a zapsání nemovitosti na katastrálním úřadu, inkasuje od klientů zálohy ve výši cca 50% prodejní ceny. Další platby můžou například následovat po omítkách nebo až po dokončení stavby. Flexibilita výstavby prefabrikovaných dřevostaveb, kdy zpoždění výstavby kvůli povětrnostním podmínkám je přínosná pro cashflow developerských projektů. Případné zdržení výstavby a s tím i přítok nových peněz, na které čekají další plánované projekty je jednoznačně finanční ztrátou pro developerské společnosti. Případné zalepení těchto zpožděných finančních toků revolvingovým úvěrem znamená neplánované vícenáklady. [63]

Developer má s rychlejší výstavbou nižší náklady na koordinátora BOZP, TDS, samotného projektového manažera a své vlastní režijní náklady. Když uvážíme, že obvykle náklady na TDS a BOZP jsou cca. 2 % z ceny projektu, tak úspory u větších developerských projektů nad 100 mil. korun mohou být v řádech miliónů korun. [49]

Investor investující do nemovitostí k pronájmu může vidět nedostatky dřevostaveb ve větším důrazu na údržbu budov. Tohle tvrzení následně koresponduje s obavami o nízkou likviditu dřevěných budov, kdy dřevostavby z pohledu znalců ztrácejí na své hodnotě rychleji než zděné stavby.[48] Tohle tvrzení se zatím opírá o nekvalitně provedené dřevostavby v minulosti a stále ještě nedostatečnými dlouhodobými zkušenostmi.

Důležitým faktorem je, že skladby obvodových stěn dosahují stejných hodnot prostupu tepla při tloušťce 300 mm jako zděné stavby při tloušťce nad 400 mm. To ušetří více místa na obestavěné ploše. Na druhou stranu, dělící příčky a mezi bytové stěny jsou u dřevostaveb širší a tento rozdíl z velké části mažou. Nicméně každý metr čtvereční navíc ve stejném půdorysu budovy znamená větší zisk. [46]

Velkou překážkou je pro developery i povolená požární výška dřevostaveb. Na stejném půdorysu můžou vybudovat maximálně 5 nadzemních podlaží.[10] Rámové dřevostavby se nedoporučuje stavět vyšší než 4 nadzemní podlaží, kdy hrozí poškozování konstrukce vlivem sedání. Vyšší budovy se staví výhradně z CLT panelů, které jsou výrazně dražší. [1]

3.5.3 Pohled malých stavebníků

Malý stavebník, který následně chce dřevostavbu užívat k bydlení vidí v dřevostavbě potenciál levnějšího pořízení vysněného domu. Jestli je to jen účinná PR kampaň dodavatelů dřevostaveb se pokusím odpovědět v této části. V úvodu této části je popsáno, že je možné ovlivnit až 43 % nákladů na samotné konstrukci budovy. Pro každého malého stavebníka je každá úspora cenná. [48]

Veškeré ušetřené peníze je možné investovat například do lepšího a efektivnějšího zařízení budovy a tím lépe dosáhnout na dotace z programu nová zelená úsporám, která vyžaduje finanční spoluúčast. Platí čím efektivnější, tím větší podpora, avšak maximálně 50 % a 5 mil. korun. [49]

Náklady na vytápění budovy jsou nižší. Dřevostavbu sice rychleji vytopíme, jelikož nemusíme vytápět (akumulovat) nejdříve stěny, ale vytápíme vzduch. Je sice pravda že naakumulované teplo déle vydrží, ale v konečném součtu je výhodnější dřevostavba. Naopak v létě díky nedostatečné akumulaci rostou náklady na chlazení budovy. Nicméně problém akumulace tepla v letních měsících se dá řešit vhodným konstrukčním návrhem, umístěním stavby, viz. kapitola 3.2.2 řešení tepelně-technických požadavků. [1]

Větší výhoda u dřevostaveb rodinných domů, než u vícepodlažních bytových domů je, že skladby obvodových stěn dosahují stejných hodnot prostupu tepla při tloušťce 300 mm jako zděné stavby při tloušťce nad 400 mm. To ušetří více místa na obestavěné ploše. U rodinných domů není požadavek na široké mezi bytové příčky. [10]

Největší nevýhodou z ekonomického hlediska je nízká likvidita dřevostaveb, kdy jeho po mnoho let splácená nemovitost po 50 letech na konci své životnosti. Pro malého stavebníka může tato skutečnost převážit přebít veškerá pozitiva. Je to z části stigma, které ohledně dřevostaveb u odborné i neodborné veřejnosti převažuje. Je dáno zejména zatím krátkou historií moderních dřevostaveb v Česku a nekvalitním provedením, kdy s dřevostavbami začaly experimentovat neodborné firmy. To si z části protiřečí, když není tradice a zkušenosti není potom také odborné provedení. Díky, prefabrikaci a stále modernějším technologiím se tohle sigma a z části i fakt se již snaží odbourávat a v budoucnosti lze očekávat v tomto směru zlepšení. Nicméně stále chybí zkušenosti v dlouhodobém horizontu 30 let a více. [48] Ve své ekonomické analýze uvedl J. Lenoch, že se ekonomicky dřevostavby vyplatí při životností delší jak 70 let. Při návrhové životnosti 50 let vychází lépe zděná stavba. Tato studie byla zpracována v roce 2010. [50]

4. Metody

4.1 Tvorba modelu

Hranice modelu

Pro výpočet jsou určeny jasné hranice, aby bylo porovnáváno jen to, co je substituent pro opačný případ. Obě varianty mají svá specifika. Tato práce nemá ambice kompletně předělat řešený projekt na dřevostavbu.

Časová hranice je dokončení hrubé stavby, po kterém dochází k prohlášení vlastníků a zápis nové budovy do katastru. Nicméně do environmentálního dopadu je započítána omítka, omítání a provedení hrubých podlah, která jsou v časovém harmonogramu až po dokončení vnitřních rozvodů silnoproudu, slaboproudu, VZT, vody a topení. Je to z důvodu, že cílem této práce není vytvořit dva stavebně technologické projekty k porovnání mezi sebou.

Referenční budova

Pro výpočet je jasně vymezeno, které konstrukce a jaké množství jsou zahrnuty ve výpočtu. K tomu slouží projektová dokumentace a rozpočet s výkazem výměrem projektu Kratochvíle Stochovská.

Modelová situace

Modelová situace popisuje umístění stavby, panelárny a výroby použitých materiálů. Jedná o reálnou stavbu a všechna data odpovídají současné situaci na trhu.

4.2 Návrh konstrukcí a normativní požadavky

Návrh skladeb lehkých dřevěných panelů je zpracován podle katalogu Rigips pro dřevostavby.[51] Skladby dřevostaveb musí splnit návrhové normativní požadavky na stavební konstrukce. Veškeré skladby uvedené v katalogu jsou certifikované.

4.3 Výpočet environmentálního dopadu

Hranice výpočtu

Hranice výpočtu jsou určeny v rozmezí od kolébky do hrobu (cradle to grave). Rozmezí od kolébky do kolébky bohužel není možné, kvůli nedostatku dat. Je nutné nastavit pravidla pro výpočet a dodržet je pro všechny druhy materiálů.

Data pro výpočet

Data byla čerpána z certifikátů EPD dostupných na internetových stránkách české informační agentury životního prostředí nebo na stránkách německého institutu staveb a životního prostředí.[52, 53] Pro doplnění nedostupných EPD byla použita data z katalogu envimat.cz.[54] Byla upřednostněna česká data, která jsou vypočítána podle místních podmínek. Některá EPD můžou být uveřejněná pouze na stránkách výrobců, před využitím dat z Envimat.cz je nutné tuto možnost prověřit.

Data z envimat.cz jsou většinou sektorová, to znamená jsou vztažena pouze k druhu výrobku, nikoliv ke konkrétnímu výrobci a jeho stylu výroby. Z tohoto důvodu nemusí odpovídat skutečnosti. [32]

Výpočetní model zohledňuje environmentální dopad logistiky. Data pro logistiku jednotlivých materiálů budou vztažena na místo výroby a celkovou hmotnost v referenční budově. Bylo využito webové kalkulačky, která počítá produkci CO_2 vztaženou na hmotnost materiálu a délku jeho přepravy, tzv. tunokilometry. [55]

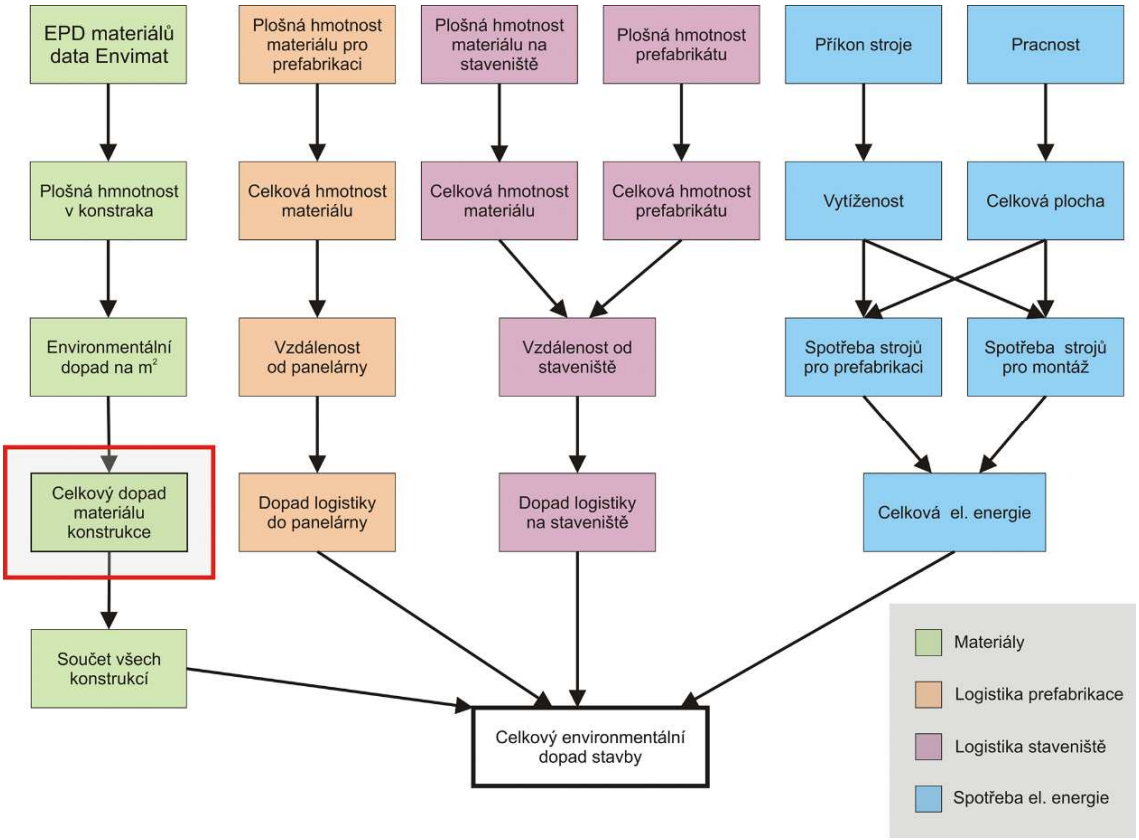
Jako poslední součást modelu je výpočet environmentálního dopadu samotné výroby, kde byla vypočtena spotřeba elektrické energie použitých strojů v kilowatthodinách. Produkce CO_2 byla potom přepočtena pomocí údajů evropské agentury pro životní prostředí.[56] Spotřeba elektrické energie automatické linky na výrobu panelů byla odvozena na základě zkušeností dodavatele těchto strojů, firmou Soukup s.r.o. Spotřeba elektrické el. energie jeřábů byla odvozena z osobní zkušenosti z výstavby referenčního objektu.

V modelu není zvlášť započítáno tmelení sádrokartonových desek, jelikož už je společně s kotvícími vruty a výztužnou páskou započítáno v EPD sádrokartonových desek.

Model pro výpočet

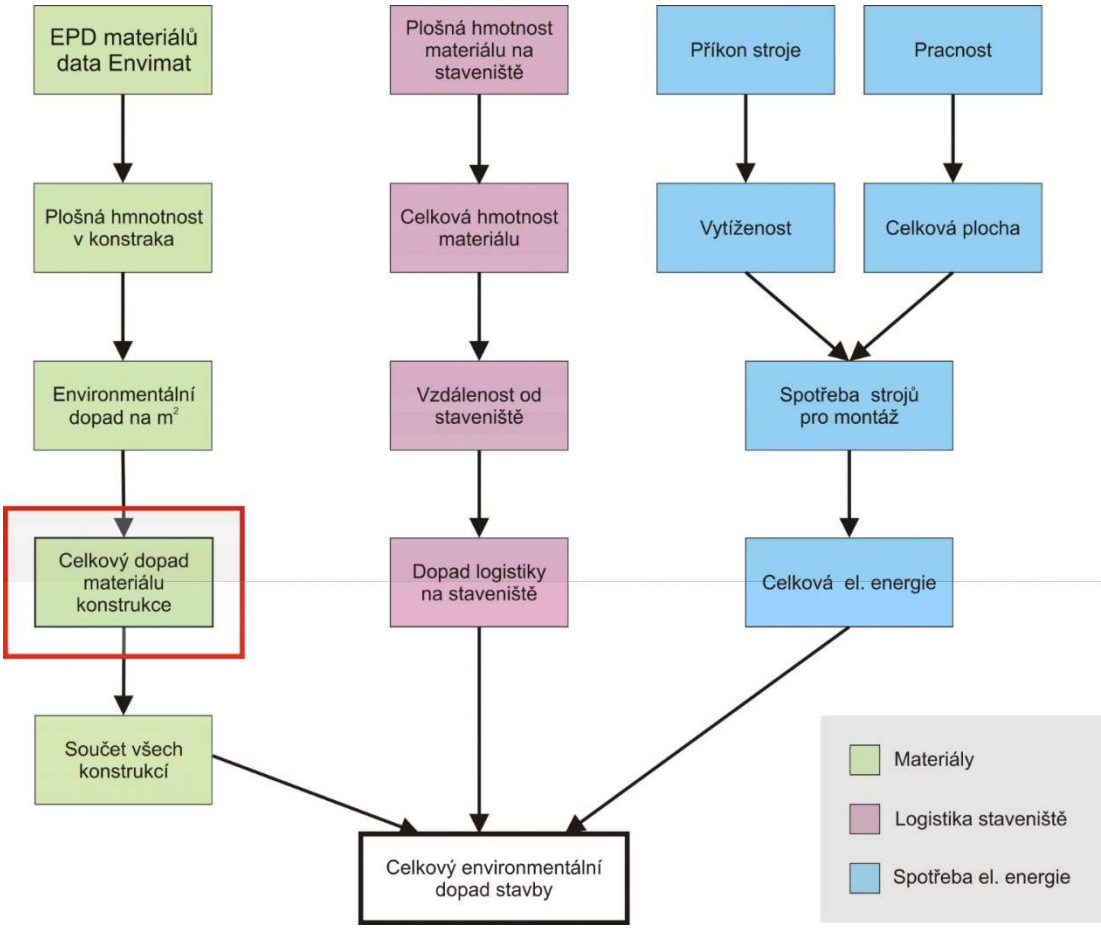
Výpočetní model sleduje environmentální dopad jednotlivých materiálů, které jsou přepočteny na m^2 konstrukce. Jednotlivé skladby dřevostavby byly porovnány se skladbami referenční budovy na základě všech dostupných dat všech použitých materiálů. V této části se sledují všechny zvolené veličiny environmentálního dopadu. Na konci modelu byly přepočteny dílčí výsledky vztažených na jeden m^2 na celou budovu. K tomuto celkovému materiálovému výsledku byl následně přičten environmentální dopad logistiky a samotné výroby, který sleduje už jen produkci CO_2. Logistika a výroba je vztažena na celou referenční budovu a modelovou situaci.

Ve zpracovaných EPD je již logistika materiálu na stavbu započítána. Jedná se vždy o nějakou určenou vzdálenost. Většinou je největší 160 km, aby zapadalo do certifikací budov. Tento model však sleduje dopady logistiky stavebního materiálu v případě prefabrikace a k porovnání musí být vypočtena data logistiky referenční stavby.



Obr. 28: *Schéma výpočtu environmentálního dopadu dřevostavby*

Na obrázku č.28 je schéma postupu výpočtu environmentálního dopadu pro dřevostavbu z prefabrikovaných rámových panelů. Zelená větev sleduje kompletní environmentální dopad navržených materiálů. Ve fázi „Celkový dopad materiálu konstrukce“ označeného červeným rámečkem je provedeno porovnání všech navržených konstrukcí. Oranžová větev sleduje logistiku materiálu do panelárny. Fialová větev sleduje logistiku materiálu a prefabrikovaných panelů na staveniště. Modrá cesta sleduje spotřebu elektrické energie při prefabrikaci a výstavbě. Oranžová, fialová a modrá stopa sledují pouze uhlíkovou stopu – produkci $CO_{2,\,ekv}$.



Obr. 29: *Schéma výpočtu environmentálního dopadu referenční stavby*

Na obrázku č.29 je schéma výpočtu environmentálního dopadu pro referenční stavbu. Systém je podobný jako u předchozího schématu na obrázku č.28, chybí ale oranžová větev, část modré a fialové. V porovnání těchto dvou schémat je u dřevostavby patrná komplikovanější logistika a zásobovací řetězec celého procesu výstavby. Tato skutečnost ovlivňuje i ekonomický výpočet.

Software

Pro účely této práce byl použit tabulkový editor Microsoft Excel. Existují samozřejmě specializované softwary pro vypracování LCA analýz, nicméně pro účely této práce, která pracuje pouze s dostupnými daty výrobců, je Excel dostačující.

4.4 Možnosti recyklace a dalšího využití

Jak jsem již zmínil v předchozí kapitole, ne všechny české EPD zahrnují také možnost opětovného využití, recyklaci. Z tohoto důvodu by můj výpočet nebyl korektní, nicméně tenhle aspekt je velmi důležitý a k naplnění cílů udržitelného rozvoje nezbytný.

Německé EPD však většinou recyklaci zohledňují, a právě z nich byly převzaty hodnoty potenciálu opětovného využití materiálu. Jsou většinou záporné hodnoty, které snižují celkový environmentální dopad. Možnosti recyklace v budoucnu byly okomentovány na základě rozhovorů se zástupci firmy Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. divize Rigips.

Na obrázku č. 30 je příklad německého EPD pro KVH spojené cinkovým spojem. Vpravo v sekci D jsou záporné hodnoty, které výrazně vylepšují environmentální dopad materiálu.[57] Naopak na obrázku č.31 je české EDP minerální izolace Isover TF PROFI. V sloupci D je zkratka MND, což znamená module not declared.[58]

Keilgezinktes Konstruktionsvollholz KVH®

ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBILANZ ENTHALTEN; MND = MODUL NICHT DEKLARIERT)

Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport zur Baustelle	Einbau ins Gebäude	Nutzung / Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Deponierung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: 1 m³ KVH, keilgezinkt

		Produktion			Entsorgung			Gutschrift
Parameter	**Einheit**	**A1**	**A2**	**A3**	**C2**	**C3**	**C4**	**D**
GWP	[kg CO_2-Äq.]	-7,67E+02	6,52E+00	4,83E+01	4,42E-01	8,09E+02	0,00E+00	-3,65E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	3,81E-06	3,63E-08	1,07E-05	8,83E-10	1,19E-06	0,00E+00	-8,33E-05
AP	[kg SO_2-Äq.]	2,26E-01	2,86E-02	2,18E-01	1,90E-03	6,98E-03	0,00E+00	-3,75E-01
EP	[kg PO_4^{3-}- Äq.]	4,82E-02	6,47E-03	3,99E-02	4,39E-04	5,89E-04	0,00E+00	-3,67E-03
POCP	[kg Ethen Äq.]	5,05E-02	2,96E-03	5,43E-02	2,05E-04	4,64E-04	0,00E+00	-2,51E-02
ADPE	[kg Sb Äq.]	5,56E-04	1,76E-07	8,62E-05	9,32E-09	1,23E-07	0,00E+00	-6,34E-06
ADPF	[MJ]	4,58E+02	9,12E+01	5,35E+02	6,23E+00	4,62E+01	0,00E+00	-4,11E+03

Obr. 30: *Výňatek z německého EPD konstrukčního dřeva KVH [55]*

Parametr	Jednotka	Fáze výroby	Fáze výstavby		Fáze užívání	Fáze konce životního cyklu			Potenciál opětovného využití, recyklace
		A1–A3	A4	A5	B1–B7	C1	C2	C3	C4	D
Potenciál globálního oteplování (GWP)[1]	kg CO_2 ekv. /FU	1,40E+01	2,13E-01	7,88E-01	0	0	3,28E-02	0	6,22E-02	MND
Potenciál úbytku stratosférické ozónové vrstvy (ODP)[2]	kg CFC 11 ekv. /FU	7,22E-07	3,87E-09	3,94E-09	0	0	5,98E-09	0	7,09E-08	MND
Potenciál acidifikace půdy a vody (AP)[3]	kg SO_2 ekv. /FU	9,90E-02	7,10E-04	5,03E-03	0	0	1,10E-04	0	4,88E-04	MND
Potenciál eutrofizace (EP)[4]	kg PO_4^{3-} ekv. /FU	9,20E-03	1,57E-04	4,74E-04	0	0	2,42E-05	0	3,95E-05	MND
Potenciál tvorby přízemního ozónu (POCP)[5]	kg C_2H_4 ekv. /FU	1,43E-02	2,03E-04	7,52E-04	0	0	3,14E-05	0	1,31E-04	MND
Potenciál úbytku surovin nefosilních zdrojů (ADP-prvky)[6]	kg Sb ekv. /FU	2,65E-07	8,39E-09	1,39E-08	0	0	1,30E-09	0	3,17E-09	MND
Potenciál úbytku surovin fosilních zdrojů (ADP-fosilní paliva)[6]	MJ (výhřevnost) /FU	1,40E+02	3,21E+00	7,23E+00	0	0	4,95E-01	0	1,77E+00	MND

Obr. 31: *Výňatek z českého EPD minerální izolace Isover TF PROFI [56]*

4.5 Výpočet ekonomiky dřevostaveb

Model výpočtu

Ekonomický model má pro výpočet stejné hranice jako model výpočtu enviromentálního dopadu. Nejdříve je spočítána cena na 1 m^2 řešených skladeb dřevostavby a porovná se s cenou skladeb referenční stavby. Nakonec jsou všechny ceny přepočteny v objemu referenční stavby a provede se konečné porovnání.

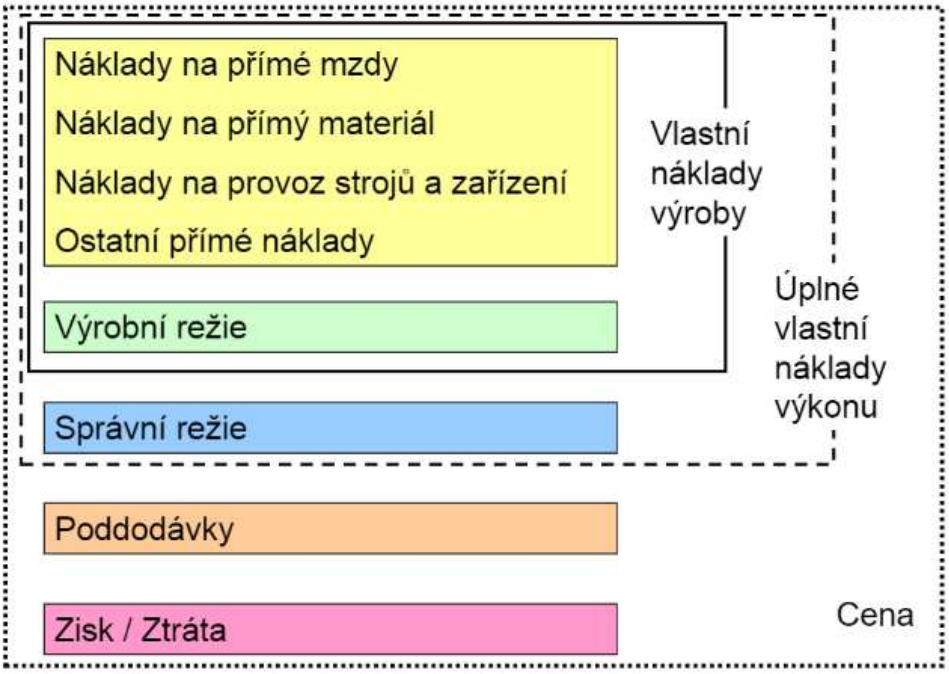
Cena logistiky je počítána pro převoz panelů z panelárny na staveniště. Ostatní náklady na logistiku jsou již zahrnuty v cenách materiálů, to platí i pro referenční stavbu.

Další část ekonomického výpočtu je odhad ušetření režijních nákladů pro investora. Tato cena není připočtena k ceně výrobní, jelikož se jedná o náklady investora, nikoliv dodavatele. Výpočet je proveden podle rozdílového počtu dní výstavby. Podle celkové ceny stavebního díla byly odhadnuty náklady na TDI, koordinátora BOZP a vlastní režijní náklady investora přes procentuální podíly. [49]

Poslední část ekonomického výpočtu je porovnání celkové půdorysné plochy svislých konstrukcí. Skladby mají rozdílné tloušťky a je nutné zjistit v našem modelovém případě dochází ke ztrátě nebo zisku ve prospěch dřevostaveb.

Data pro výpočet

K části výpočtu byly použity ceníkové ceny ze programu KROS 4, který používá ceníkovou soustavu ÚRS. Ceny v programu jsou upraveny podle cenové politiky firmy TOMA Olomouc, s.r.o., která poskytla software k dispozici pro účely této práce. Jednotlivé skladby dřevostaveb však nejsou součásti ceníkové soustavy ÚRS, a proto je použit kalkulační vzorec pro naceňování stavebních prací. TOMA Olomouc, s.r.o. také poskytla rozvahu nad náklady pro nákup linky a výrobního areálu. Od této rozvahy se odvíjí výpočet odpisů, procentuální podíl režijních nákladů a zisku použitých v kalkulačním vzorci.[59] Ceny byly určeny podle reálných tržních cen, získaných buď z programu KROS 4 nebo z cenových nabídek od dodavatelů firmy TOMA Olomouc, s.r.o.



Obr. 32: *Kalkulační vzorec [57]*

Software pro výpočet

Pro celkový výpočet byl použit tabulkový editor Microsoft Excel. Pro kontrolu a získání dat bude použit program KROS 4.

5. Praktická část

5.1 Referenční budova a model pro výpočet

Hranice modelu

Pro názorné porovnání mezi dřevostavbou a konvenční masivní stavbou jsem se rozhodl zahrnout pouze ty části budovy, které jsou pro tyto směry výstavby odlišné. Ve výpočetním modelu jsou skladby pro nosnou obvodovou stěnu, nosnou vnitřní stěnu, mezibytovou příčku a stropní konstrukci. V interiérových konstrukcích nebude započtena malba a obklad. Dále pak nášlapné vrstvy podlah, výplně otvorů, technické zařízení budov a další vybavení budovy. U vnější obvodové stěny bude započítán pouze izolant kontaktního zateplovacího systému.

Výpočet se tedy bude věnovat hrubé stavbě nadzemních podlaží, hrubé podlaze a omítkám.

Referenční budova

Jedná se o novostavbu realizovanou v roce 2019 v Praze 6 – Ruzyni. Budova má 4 nadzemní a 1 podzemní podlaží. Součástí výpočtu jsou pouze nadzemní podlaží. Konstrukce je navržena jako stěnový systém doplněný několika železobetonovými pilíři a vnitřními železobetonovými stěnami tl. 200-240 mm. Od 2.NP jsou nosné stěny podle možnosti provedeny z vápenopískových tvarovek VAPIS tl. 200-240 mm. Stropní desky jsou navrženy železobetonové v tloušťce 250 mm. Příčky jsou navrženy z vápenopískových příčkovek v tl. 70 a 115 mm. Fasádní izolant je navržen EPS Greywall v tl. 200 mm. Omítka je sádrová v tl. 15 mm. Skladba hrubé podlahy je separační vrstva, akustická izolace a litá anhydritová.

Ve výpočtu zůstává těleso schodiště a výtahová šachta z betonu, respektive z vápenopískových tvárnic. Skladba střechy se nemění, střecha je ve výpočtu uvažována jako stropní panel. Umístění jednotlivých skladeb je znázorněno v příloze I.

Modelová situace

Modelová situace je uvažovaná následovně. Staveniště se nachází v Praze, panelárna v Olomouci a doprava materiálů je uvažována z místa jejich výroby. K tomu je vztažený výpočet veškeré logistiky potřebného materiálu. Dále je odhadnuta doba výstavby ve vymezeném časovém úseku a k němu potřebné mechanizace. Pracnost je uvažována pro dvě čety se čtyřmi dělníky a jedním jeřábníkem. Hodnoty pracnosti

jsou určeny podle rozhovorů s dodavateli dřevostaveb a materiálu pro dřevostavby na konferenci Dřevostavby v praxi, která se uskutečnila v listopadu v roce 2019.

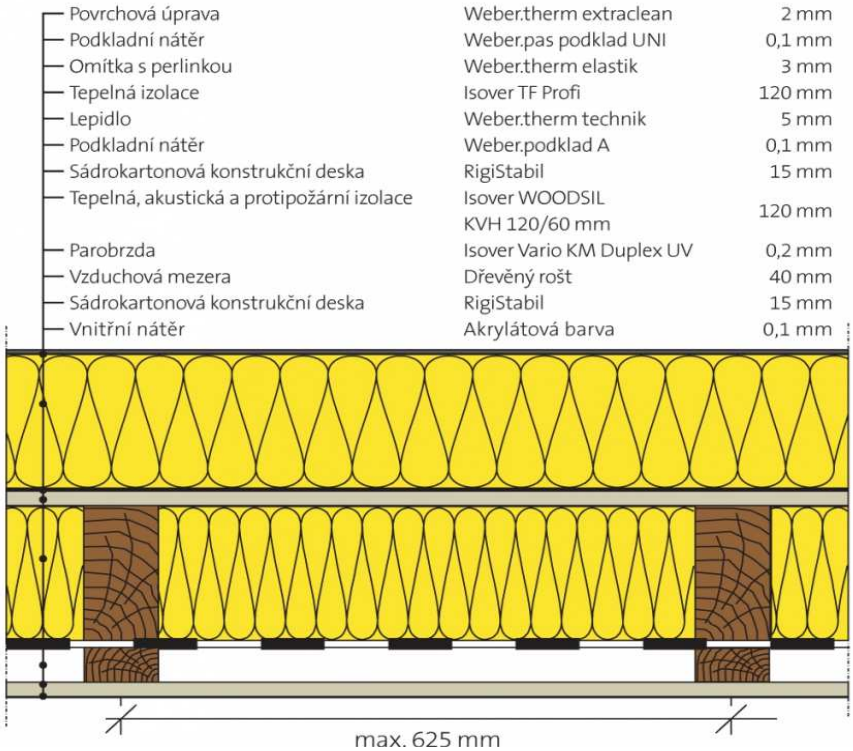
Místa výroby jednotlivých materiálů jsou uvedena v příloze II. v tabulce výpočtů uhlíkové stopy logistiky.

5.2 Návrh konstrukcí lehkých rámových panelů a trámového stropu

Návrh umístění skladeb je znázorněno na schématu v příloze I.

5.1.1 Obvodová stěna

Obvodová stěna dřevostavby je navržena v tloušťce 340 mm jako difúzně otevřená, s instalační předstěnou v interiéru a kontaktním zateplovacím systémem z minerální vlny v exteriéru. Nosný prvek je rám z KVH hranolů o tloušťce 120 mm a šířce 60 mm, vyplněným minerální vatou WOODSILL. Skladba je znázorněna v následujícím obrázku.



Obr. 33: *Navrhovaná skladba obvodové stěny dřevostavby [49]*

Navržená skladba dřevostavby je navržena, tak aby nahradila dvě varianty obvodové stěny v referenční stavbě. Tyto varianty se liší v nosném prvku a mají stejnou tloušťku 420 mm.

- Železebeton
- Vápenopískové bloky VAPIS QUADRIO-KS

Nosná část je navržena v tloušťce 200 mm, v interiéru je sádrová omítka tloušťky 15 mm a v exteriéru kontaktní zateplovací systém z EPS GreyWALL tloušťky 200 mm. Povrchová úprava fasády má 5 mm.

V následující tabulce č.3 je provedeno porovnání stavebně-fyzikálních veličin a požární odolnosti skladeb obvodových konstrukcí.

Tab. 3: *Porovnání skladeb obvodových konstrukcí*

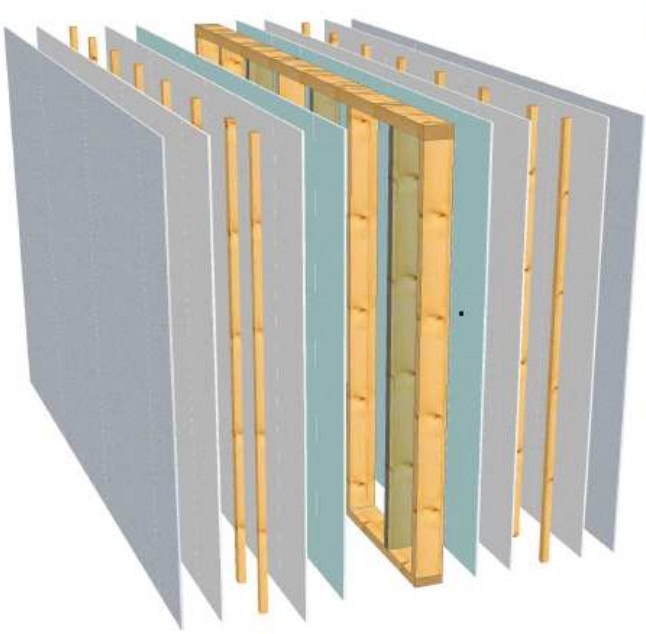
Nosný prvek obvodové stěny	Tloušťka [mm]	Hmotnost konstrukce [kg/m2]	Stavební vzduchová neprůzvučnost skladby Rw' [dB]	Požadavky ČSN 73 0532 [dB]	Součinitel prostupu tepla U [W/m2K]	Doporučené hodnoty U dle ČSN 73 0540-2 [W/m2K]	Pořární odolnost
KVH hranol	340	46	50(-4;-8)	37	0,149	0,2	REI60DP3 REI30DP2
VAPIS QUADRO	420	387	54	37	0,159	0,25	REI90DP1
Železobeton	420	491	51 (-2;-6)	37	0,157	0,25	REI90DP1

Z porovnání je patrné že varianta dřevostavby splňuje všechny požadavky s bezpečnou rezervou. Jediný problém je požární odolnost, která je jedením z důvodu pro nejsou vhodné dřevěné panely pro konstrukce schodišťových těles a výtahových šachet.

5.1.2 Mezi bytová stěna

Skladba mezi bytové stěny je navržena v tloušťce 385 mm. Tato stěna je tvořena nosným rámem z KVH hranolů o tloušťce 160 mm a šířce 60 mm, vyplněným minerální vatou WOODSIL. Nosná konstrukce je oboustranně obložená sádrokartonovou deskou Rigistabil a akustickou sádrokartonovou deskou MA. Pro dosažení požadovaných akustických vlastností je obou stran přidaná ještě předstěna s dvojitým obložením deskou Rigistabil a akustickou deskou MA. Skladba je znázorněna na následujícím obrázku č.34. Nejedná se o skladbu z oficiálního katalogu dřevostaveb společnosti Rigips[51]. Tato skladba byla poskytnuta společností Rigips pro účely této diplomové a bude oficiálně zveřejněná v roce 2020.

Tato mezi bytová stěna nahrazuje v referenční budově nosné vnitřní stěny a opět ve dvou variantách. Železobetonová stěna a vnitřní nosná stěna z vápenopískových bloků VAPIS QUADRO-KS o tloušťce 240 mm je oboustranně omítnuta sádrovou omítkou o tloušťce 15 mm.



SKLADBA
sádrokarton MA 12,5mm
Rigistabil 12,5mm
předstěna - latě 60/40 mm
sádrokarton MA 12,5mm
Rigistabil 15mm
Rámová konstrukce 160 mm (WOODSIL 160MM)
Rigistabil 15mm
sádrokarton MA 12,5mm
předstěna - latě 60/40 mm
Rigistabil 12,5mm
sádrokarton MA 12,5mm

Obr. 34: *Navrhovaná skladba mezi bytové stěny dřevostavby (vlastní zdroj)*

V následující tabulce č.4 je provedeno porovnání stavebně-fyzikálních veličin a požární odolnosti skladeb vnitřních nosných/mezi bytových konstrukcí.

Tab. 4: *Porovnání skladeb mezi bytové a nosné stěny*

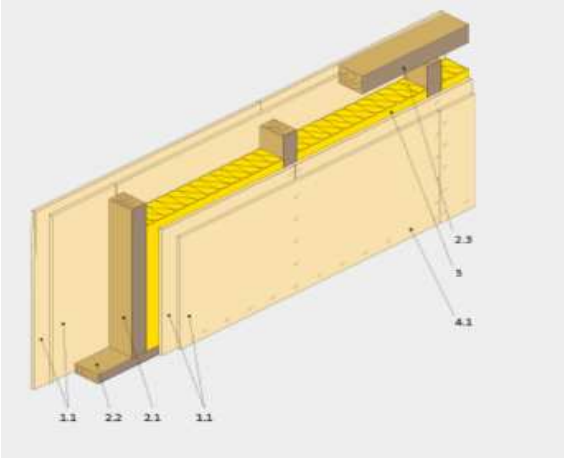
Nosný prvek mezi bytové stěny	Tloušťka [mm]	Hmotnost konstrukce [kg/m2]	Stavební vzduchová neprůzvučnost skladby Rw' [dB]	Požadavky ČSN 73 0532 [dB]	Pořární odolnost
Rám z KVH trámů	385	121	splňuje	53	REI60DP3
VAPIS QUADRO	270	491	55	53	REI90DP1
Železobeton	270	630	55(-1;-6)	53	REI90DP1

Společnost Rigips zatím neuvedla přesnou hodnotu vzduchové neprůzvučnosti. Tuto skladbu čeká ještě poslední testování a snad Rigips brzy zveřejní veškeré podrobnosti, tak jak plánuje. Nicméně akustický požadavek na mezibytovou stěnu je velmi přísný a stěží ho splňují i masivní konstrukce. Kvůli malé rezervě (2dB) je například zakázáno do těchto konstrukcí zasekávat jakákoliv instalace a pokud je to nezbytně nutné, musí se tyto drážky dokonale zasádrovat.

Nevýhodou této konstrukce je její tloušťka. Alternativy existují pouze v podobě zdvojených příček, které mají tloušťku ještě větší. Nejdůležitějším faktorem v této problematice je však napojení na ostatní konstrukce, kterému by se mělo věnovat obzvlášť zvýšené pozornosti.

5.1.3 Nosná/Dělící vnitřní stěna

V lehkých rámových dřevostavbách je snaha kvůli subtilnosti nosné konstrukce většinu svislých stěn zahrnout do statického spolupůsobení.[1] Proto v návrhu pro nahrazení dělících příček můžeme variantu dřevostavby označit také za nosnou stěnu. V tomto případě je navržena vnitřní stěna s nosným rámem z KVH hranolů tloušťky 100 mm a šířky 60 mm, vyplněným minerální izolací Isover UNI. Z každé strany je dvojitě opláštěná deskou Rigistabil. Skladba je znázorněna na následujícím obrázku č.35. [51]



Obr. 35: *Navrhovaná skladba dělicí příčky dřevostavby [49]*

V referenční stavbě jsou navrženy dvě varianty pro dělící příčky. Jedna je z vápenopískových tvarovek VAPIS 8DF o tloušťce 115 mm a druhá z tvarovek VAPIS P7 o tloušťce 70 mm. Obě varianty jsou omítnuty sádrovou omítkou o tloušťce 15 mm.

V následující tabulce č.5 je provedeno porovnání stavebně-fyzikálních veličin a požární odolnosti skladeb vnitřních dělících konstrukcí.

Tab. 5: *Porovnání skladeb dělících příček*

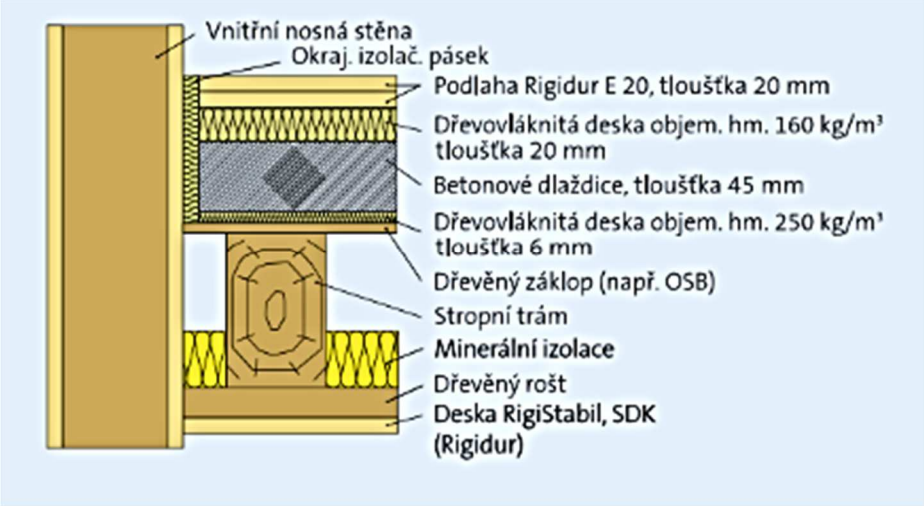
Nosný prvek dělící příčky	Tloušťka [mm]	Hmotnost konstrukce [kg/m2]	Stavební vzduchová neprůzvučnost skladby Rw' [dB]	Požadavky ČSN 73 0532 [dB]	Pořární odolnost
Rám z KVH trámů	150	62	51 (-4;-8)	42	REI30DP2
VAPIS 8DF	145	261	45	42	EI60DP1
VAPIS P7	100	132	41	42	EI60DP1

I v tomto případě je konstrukce navrhovaného panelu z KVH hranolů tlustší než konstrukce referenční stavby. Na úkor ztráty užitkové plochy se díky dvojitému

opláštění dosáhne lepších akustických vlastností, což by byl při jednoduchém opláštění problém. Dokonce VAPIS P7 nedosahuje normových požadavků, v tomto případě bude řešeno silnější vrstvou sádrové omítky. Dvojité opláštění je zajisté vhodné i pro praktické užívání stavby, kdy zvyšujeme únosnost stěny pro zavěšované předměty.

5.1.4 Stropní konstrukce

Nosné prvky stropní konstrukce jsou navržený trámy z KVH hranolů šířky 120 mm a výšky 200 mm. Trámy budou podbity roštem z dřevěných latí, tento rošt ponese z horní strany minerální izolaci a ze spodní strany sádrovláknitou desku Rigidur. Z horní strany budou trámy zaklopeny OSB deskou. Skladba hrubé podlahy je následující, dřevovláknitá deska, na ní jsou položeny betonové dlaždice, potom opět dřevovláknitá deska a pochozí vrstvu tvoří dvě desky Rigidur. Skladba stropní konstrukce je zobrazena na následujícím obrázku č.36. [51]



Obr. 36: *Navrhovaná skladba stropní konstrukce dřevostavby [49]*

Referenční stavba má stropní konstrukci navrženou takto. Nosnou část tvoří železobetonová deska o tloušťce 200 mm. V obytných místnostech je stropní deska pouze omítnuta sádrovou omítkou v tloušťce 10 mm. Na chodbách, v koupelně a technických místnostech je navržen sádrokartonový podhled na roštu z křížem zavěšených hliníkových profilů. Hrubá podlaha leží na dvojité kročejové izolaci – extrudovaný polystyren Rigifloor tl. 30 mm a minerální vata Isover T-N tl. 25 mm. Kročejová izolace je oddělena seperační PE fólií od pochozí vrstvy z anhydritu o tlouštce 45 mm.

následující tabulce č.6 je provedeno porovnání stavebně-fyzikálních veličin a požární odolnosti skladeb stropních konstrukcí.

Tab. 6: *Porovnání skladeb stropních konstrukcí*

Nosný prvek stropní konstrukce	Tloušťka [mm]	Hmotnost konstrukce [kg/m2]	Stavební vzduchová neprůzvučnost skladby Rw' [dB]	Požadavky ČSN 73 0532 [dB]	Stavební kročejová neprůzvučnost skladby Ln,w´ [dB]	Požadavky ČSN 73 0532	Pořární odolnost
KVH trámy	373	62	62 (-4;-8)	53	54 (0;-2)	55	REI30DP2
Železobeton	320-340	261	56	53	47	55	EI120DP1

Z porovnání je znovu patrný hlavní problém. V případě stropních konstrukcí je to však kročejová neprůzvučnost. Obvykle při splnění kročejové neprůzvučnosti je splněná i podmínka vzduchové neprůzvučnosti. [1] Dostatečných hodnot je zde dosaženo zejména díky přitížení stropní konstrukce betonovými dlaždicemi.

5.3 Porovnání environmentálního dopadu

Jednotlivé konstrukce budou porovnány podle rozdělení a návrhu uvedených v předchozí kapitole. Rozmezí výpočtu je od kolébky do hrobu (cradle to grave). Rozdělení barev v grafech porovnávající skladby je vždy následující:

- Skladby dřevostavby – světle zelená
- Skladby železobeton – šedá
- Skladby VAPIS kromě VAPIS 8DF – oranžová
- Skladba VAPIS 8DF – tmavě okrová

Všechny výpočty z tabulkového editoru Microsoft excel jsou k nahlédnutí v příloze II.

5.3.1 Porovnání spotřeby primární energie

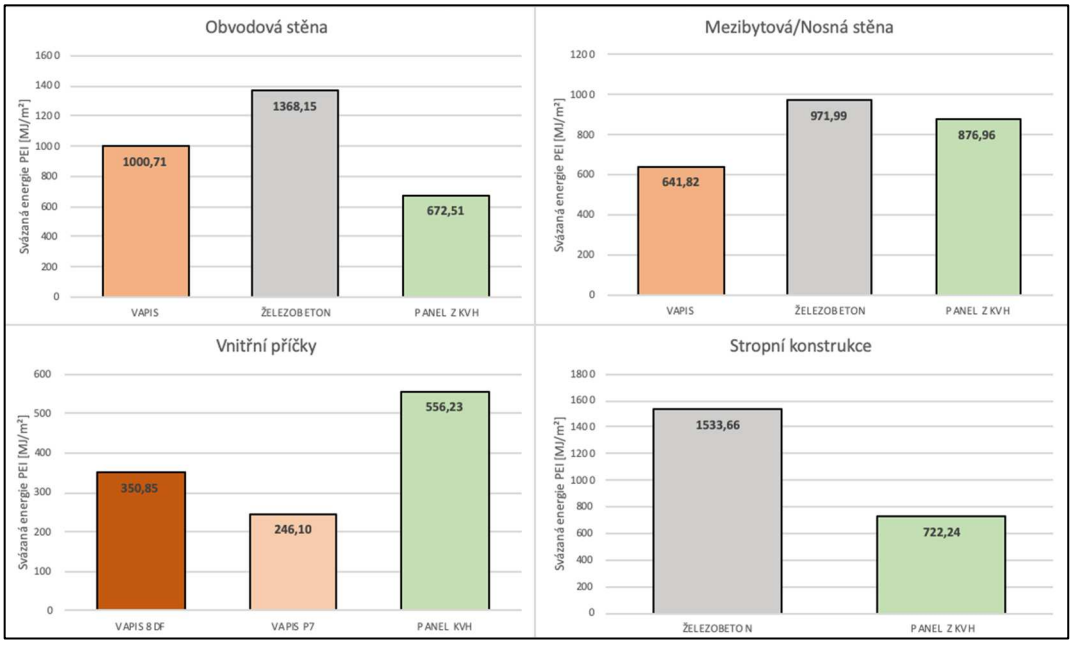
V grafech na obrázku č.37 jsou zobrazeny výsledky spotřebované primární energie jednotlivých konstrukcí. Největší hodnoty na PEI MJ/kg dosahují kovové materiály, plastové fólie a polystyrenová fasádní izolace. Nejnižší pak překvapivě beton a VAPIS, dřevěné prvky jsou bez započtení recyklace vyšší. To samé platí i při porovnání OSB, sádrokartonové a sádrovláknité desky. V tomto porovnání je na tom nejhůře OSB deska a nejlepé sádrovláknitá.

I když si stojí některé materiály v porovnání dobře, tak rozhodující je jejich množství materiálu v konstrukci a jeho objemová hmotnost. Právě hmotnost sráží dolů dobré hodnoty betonu a VAPIS.

Mezibytová stěna a vnitřní příčka dřevostavby dosahuje horších hodnot než VAPIS dělící příčky. Důvod je zřejmý – mezibytová stěna má 8 vrstev sádrokartonu a vnitřní příčka má 4 vrstvy, zatímco dělící příčky VAPIS mají jednoduchou skladbu.

Betonová stropní konstrukce má vélkou zátež v hliníkových profilech sádrokartonového podhledu. Bez SDK podhledu by měla o cca 350 MJ/m^2.

V případě referenční stavby má obvodová stěna dvakrát vyšší zátěž fasádního izolantu. Kdyby se zvolila jiná izolace než EPS Greywall mohla by se více přiblížit skladbě dřevostavby. Další důvod je nutnost použít izolant o větší tlouštce, v tomto modelu je to 80 mm.



Obr. 37: *Porovnání svázané energie PEI navržených konstrukcí – od kolébky do hrobu*

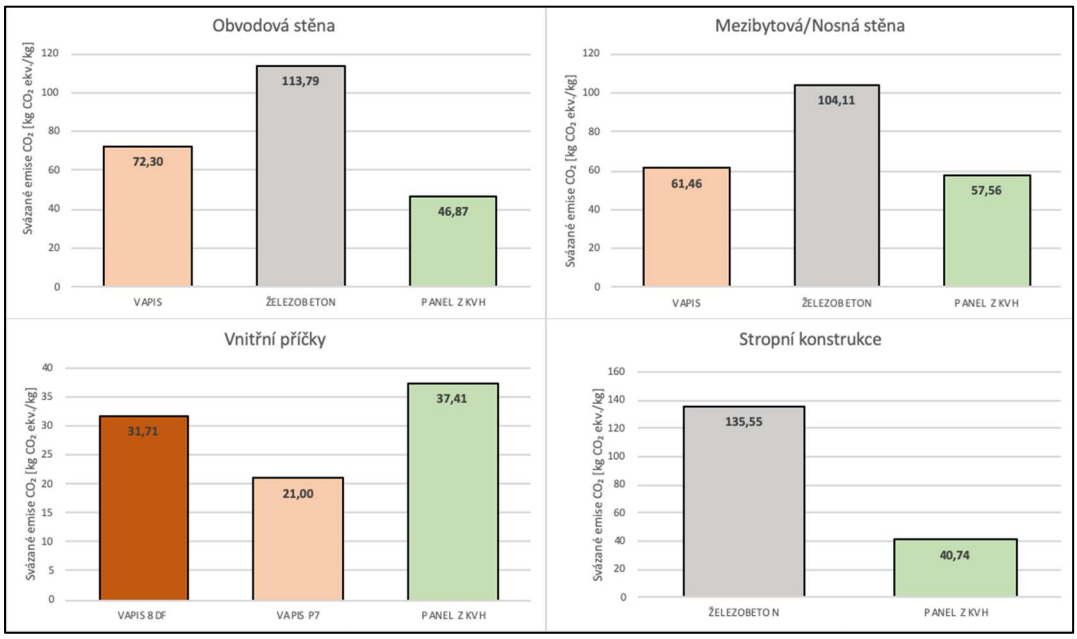
5.3.2 Porovnání potenciálu globálního oteplování

Potenciálu globálního oteplování se obvykle věnuje největší pozornost a je tomu tak i v této diplomové práci. V grafech na obrázku č.38 je výsledek výpočtu prodkuce kg CO_2 ekv. vztažených na 1 m^2 použitých materiálů. Důležité je zmínit, že v dřevěných prvcích je započten biogenní uhlík, kdyby nebyl, byly by výsledné hodnoty řádově vyšší. Nejvyšší hodnoty má v tomto případě hliník z profilů pro SDK podhledy, následuje fasádním polystyrenem a plastovými fóliemi. Vysokých hodnot dosahuje také minerální izolace, která dosahuje stejných hodnot jako ocel. Velký

rozdíl vykazuje fasádní polystyren GreyWALL a kročejová izolace Rigifloor od firmy Isover. Obě hodnoty jsou z platných EPD certifikátů a GreyWALL vyprodukuje více než 6x CO_2ekv./kg. Důvodem je jsou samozhášivé přísady, které musí fasádní polystyren obsahovat. Dřevo dosahuje dvojnásobných hodnot než beton. Je kvůli nezapočtení potenciálu opětovného využití a náročnosti dřevařské výroby.

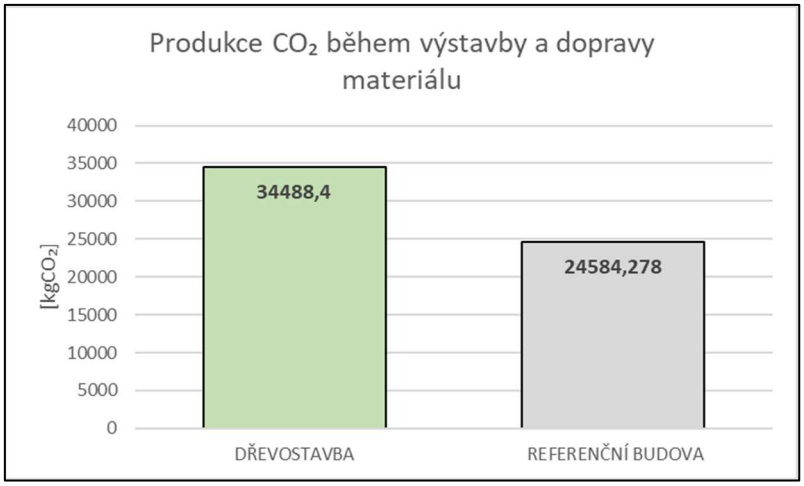
Situace při porovnání celých skladeb se opakuje, kdy konečný výsledek ovlivňuje množství materiálu v konstrukci a jeho objemová hmotnost.

Rigifloor dokonce dosahuje nižších než minerální vata. V porovnání s kročejovou izolací z minerální vaty je dokonce dvakrát lepší.



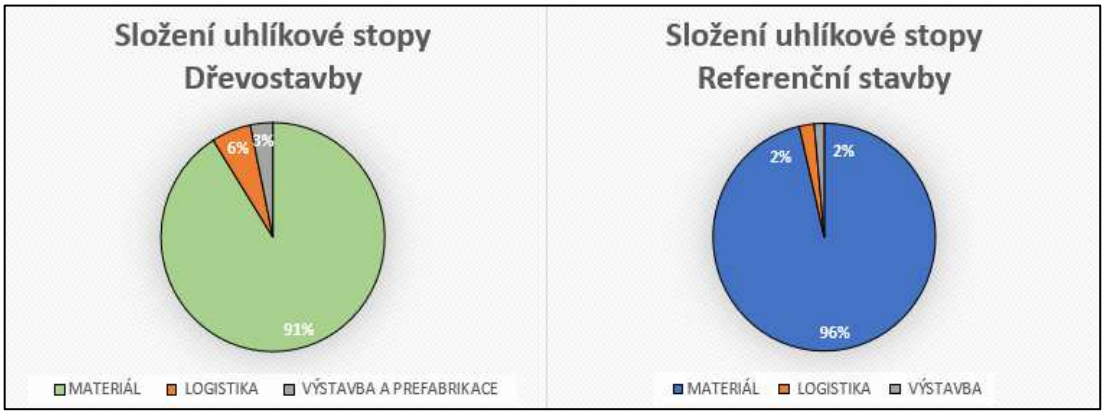
Obr. 38: *Porovnání potenciálu globálního oteplování GWP navržených konstrukcí – od kolébky do hrobu*

Další graf č.5 ukazuje produkci CO_2 během logistiky celého zásobovacího řetězce modelové situace. Dřevostavba je v tomto případě v nevýhodě, jelikož se materiál musí nejdříve dovézt do panelárny a potom na stavbu. Materiály pro referenční stavbu se převáží přímo na staveniště. Důležitým faktorem, který vylepšuje hodnoty referenční skladby je její výhodné umístění. V krátké vzdálenosti je k dispozici většina materiálů. Dále hraje velkou roli výroba bloků VAPIS, které se vyrábí u Drážďan a vzdálenost od staveniště je o 100 km kratší než panelárny v Olomouci.



Graf 5: *Porovnání uhlíkové stopy výstavby a logistiky*

Výsečové grafy č.6 popisují podíl stavební výroby, dopravy a prefabrikace na celkovém produkci $kgCO_{2,ekv.}$ vztažené na celou modelovou situaci.

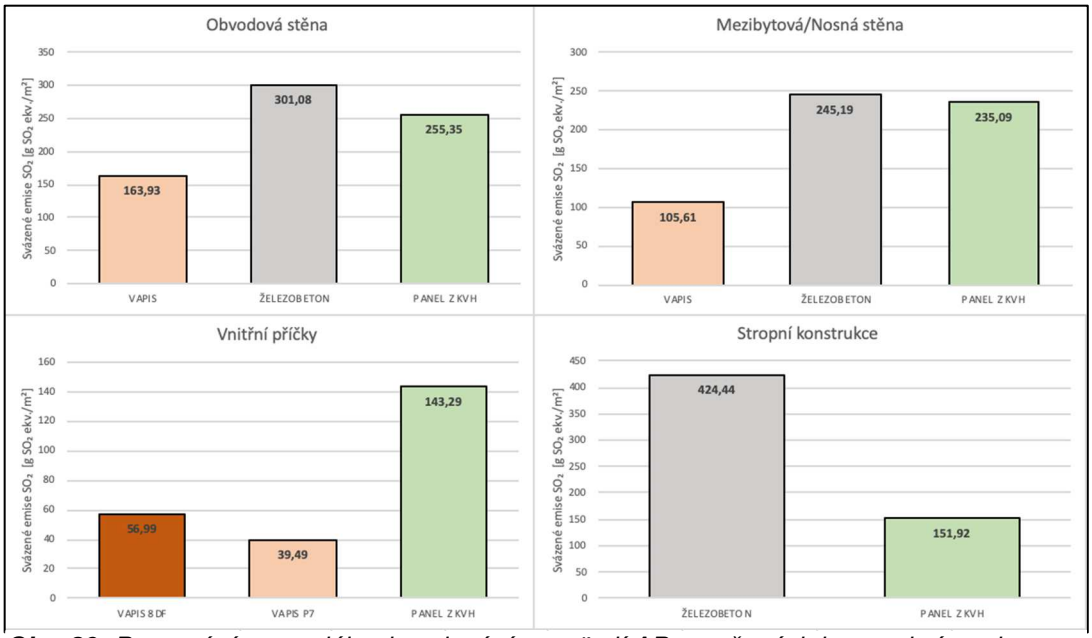


Graf 6: *Rozdělení uhlíkové stopy v rámci modelové situace*

5.3.3 Porovnání potenciálu okyselování prostředí

Grafy na obrázku č.39 porovnávají svázané emise SO_2 vztažených k 1 m^2 skladby konstrukce. Ve výsledných hodnotách vychází nejlépe skladby z bloků VAPIS. Dřevostavby si v tomto hodnocení nestojí nejlépe, ikdyž se pro výrobu sádrokartonových desek využívá odpadní síra z filtrů hnědouhelné elektrárny.

Nejhorší hodnoty $gSO_{2,ekv.}/kg$ má opět hliník, následuje plastová fólie parobrzdy a EPS GreyWALL. Vyšších hodnot než ocel opět dosahuje minerální izolace. Beton me ze všech posuzovaných materiálů nejlepší hodnoty.

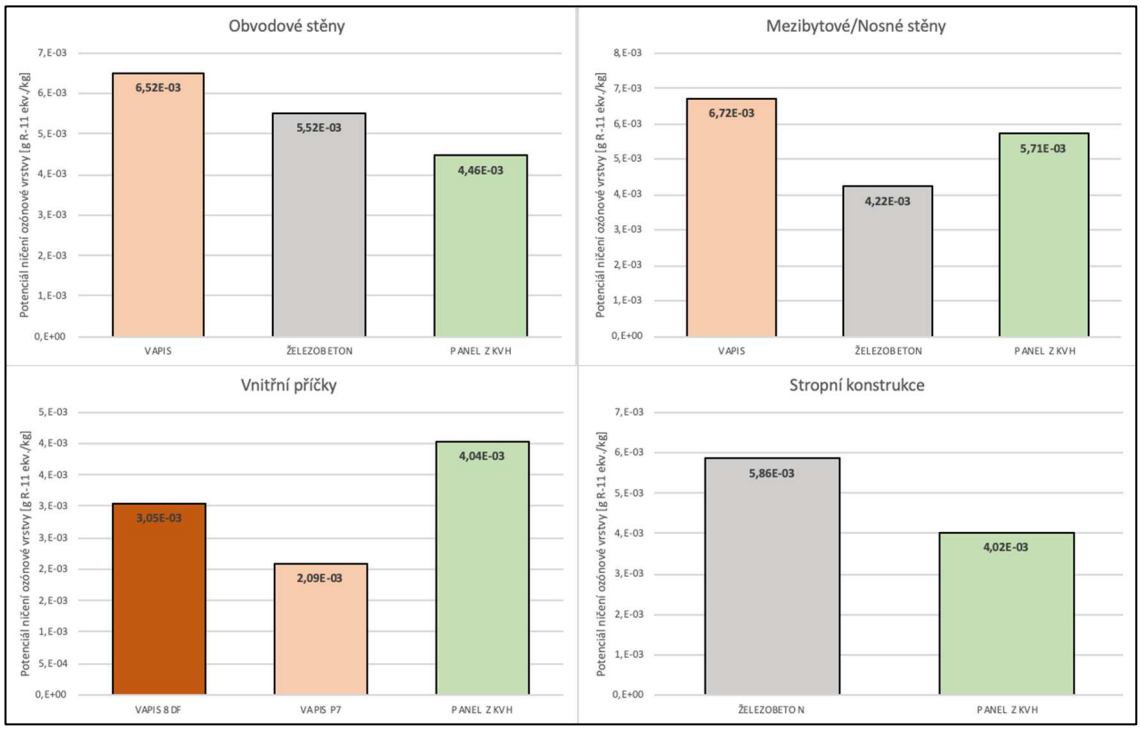


Obr. 39: *Porovnání potenciálu okyselování prostředí AP navržených konstrukcí – od kolébky do hrobu*

5.3.4 Porovnání potenciálu ničení ozonové vrstvy

Následující grafy na obrázku č.40 vyjadřují vyprodukované ekvivalentní emise R-11 vztažených k 1 m^2 skladby konstrukce. V porovnání tohoto environmentálního faktoru tentokrát dopadly hůře skladby z bloků VAPIS. Betonová stropní deska by byla bez SDK podhledu téměř na stejné úrovni jako strop z KVH hranolů.

Nejhorší materiál v množství emisí gR-11/kg jsou v tomto ohledu jsou plastové fólie parozábrany, následuje hliník a EPS GreyWALL. Nejlepší hodnoty má opět beton.

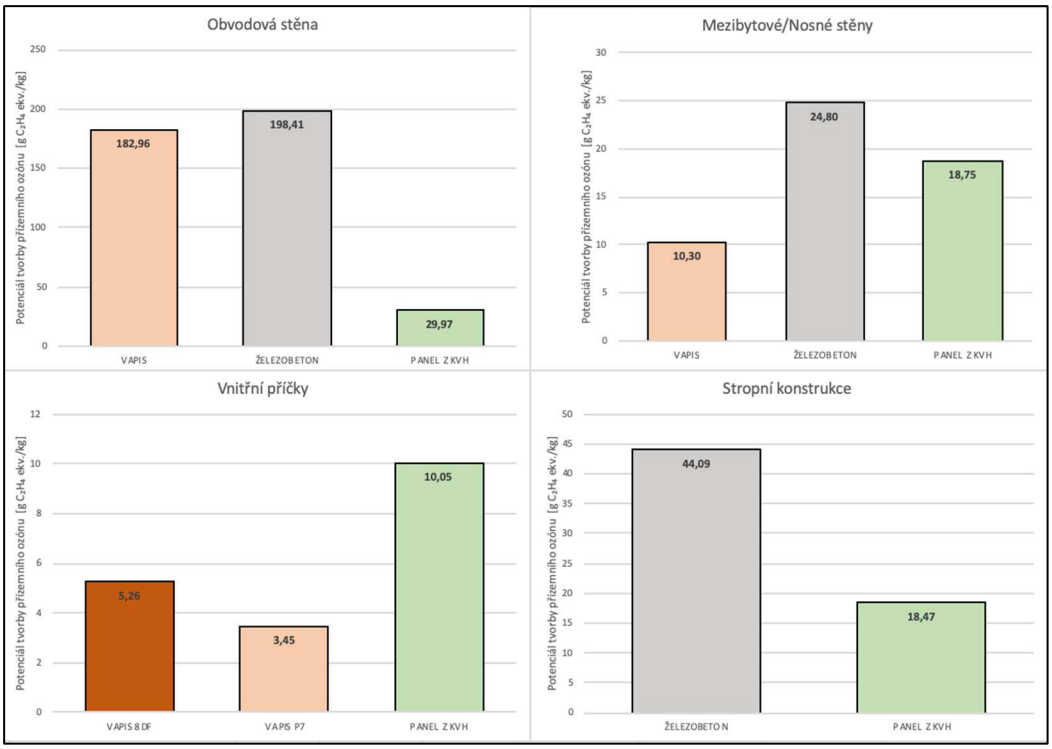


Obr. 40: *Porovnání potenciálu ničení ozónové vrstvy ODP navržených konstrukcí – od kolébky do hrobu*

5.3.5 Porovnání potenciálu tvorby přízemního ozónu

Na dalším obrázku č.41 jsou grafy, které porovnávají emise přízemního ozónu $gC_2H_{4,\,ekv}$. vztažených k 1 m^2 skladby konstrukce. Řádově vyšší hodnoty obvodových stěn referenční budovy jsou zapříčiněné fasádním polystyrenem, který má v tomto případě velmi vysoké hodnoty.

Velký hodnot dosahují také minerální izolace, v porovnání s dřevovláknitými izolacemi řádově vyšší. Nejlépe v tomto porovnání opět vychází beton. Nejhůře na v této části jsou opět fasádní polystyren, hliník a parobrzdná plastová fólie.



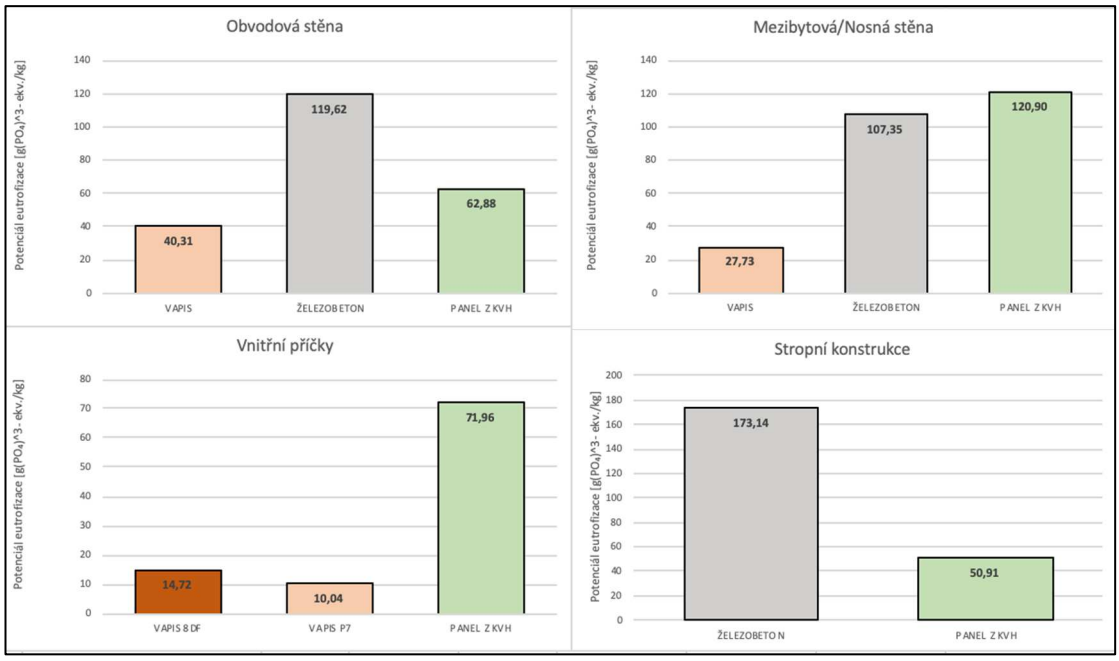
Obr. 41: *Porovnání potenciálu tvorby přízemního ozónu POCP navržených skladeb konstrukce – od kolébky do hrobu*

5.3.6 Porovnání potenciálu eutrofizace prostředí

Posledním obrázkem č.42 s grafy s environmentálním porovnání je produkce emisí zodpovědných za nepřirozený nárust živin ve vodách a půdách v $g(PO_4)^{3-}_{ekv.}$ vztažený na 1m2 konstrukce. V tomto hodnocení nejlépe dopadly bloky VAPIS.

Nejhorší z materiálů je v tomto ohledu hliník, plastová fólie parobrzdy a ocel. Špatných hodnot dosahují také sádrokartonové desky, dokonce vyšší než fasádní polystyren, kvůli tomu jsou v provnání se skladbami z VAPIS výrazně horší.

Beton se řadí opět mezi nejlepší materiály, nicméně betonovým konstrukcím výrazně zvyšuje ocel.



Obr. 42: *Porovnání potenciálu eutrofizace prostředí EP navržených skladeb konstrukcí – od kolébky do hrobu*

5.4 Porovnání možností recyklace, opětovného využití

Hodnoty této části nemůžou být započítány do seriózního výpočtu environmentálního dopadu, jelikož nejsou k dispozici data ke všem materiálům a vytvořilo by to zkreslený pohled na věc. Zahraniční EPD také netvoří přesný výsledek, jelikož jsou deklarované hodnoty vztaženy k místnímu energetickému mixu. Pro vyjádření potenciálu recyklace v této práci však zahraniční EPD dostačují. Data o potenciálu znovuvyužití, recyklace jsou k dispozici k těmto materiálům.

- Konstrukční dřevo KVH s cinkovým spojem – strukturální německé EPD
- Konstrukční dřevo KVH bez cinkového spoje (použito pro dřevěné latě) – strukturální německé EPD
- Desky OSB – rakouské EPD firmy Egger
- Tepelná izolace EPS GreyWALL – české EPD firmy Isover
- Kročejová izolace Rigifloor – české EPD firmy Isover
- Dřevovláknité izolace – polské EPD firmy Steico
- Vápenopískové bloky – německé EPD firmy Silka Kalksandstein

Po připočtení potenciálu recyklace vznikly u některých materiálů záporné hodnoty, ty vyjadřují možný kladný environmentální dopad. Záporné hodnoty environmentálního dopadu mají pouze některé materiály bázi dřeva, tzn. materiály z obnovitelných zdrojů.

V podkapitolách níže jsou stejné grafy jako v předchozí kapitole s připočtenými hodnotami potenciálu recyklace.

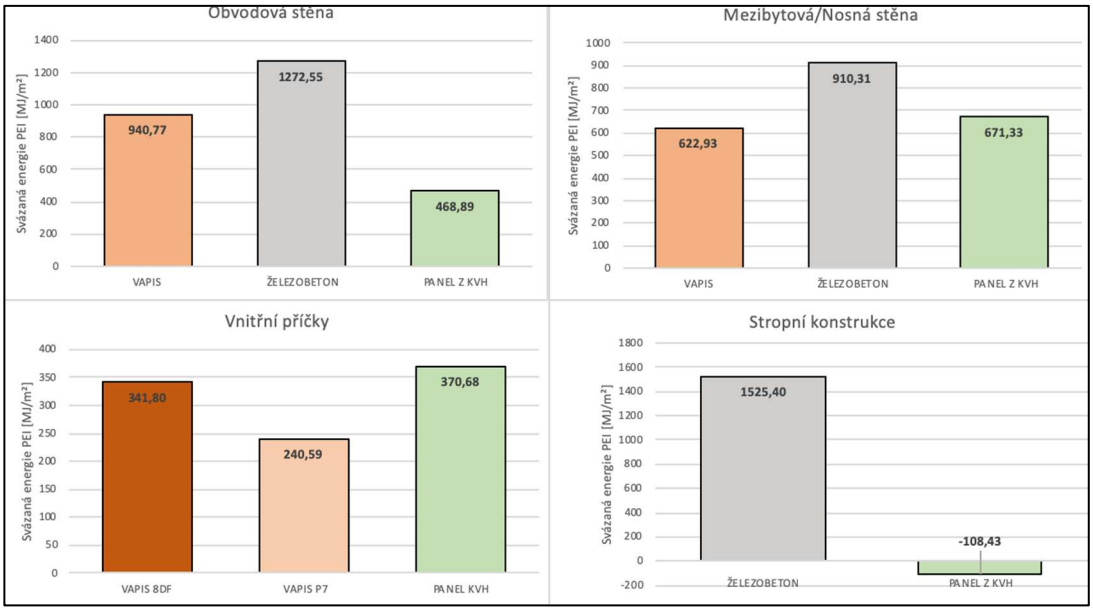
Všechny výpočty z tabulkového editoru Microsoft excel jsou k nahlédnutí v příloze II.

5.4.1 Vliv recyklace na svázanou energii

V tomto porovnání došlo ke snížení všech konstrukcí. Záporné hodnoty v tabulce č.7 znamenjí procentuální snížení z původní hodnoty v rámci od kolébky do hrobu. Nižší hodnota jak 100, znamená že celková konstrukce má na konci životního období možný pozitivní vliv. V tomto případě stropní konstrukce, díky převažujícímu množství prvků na bázi dřeva. Nové porovnání svázané energie navržených konstrukcí je na obrázku č.43.

Tab. 7: *Procentuální změna PEI při započtení potenciálu recyklace*

Název konstrukce	Změna PEI [%]
Obvodová stěna z KVH hranolů	-35,72
Mezibytová stěna z KVH hranolů	-23,45
Vnitřní příčka z KVH hranolů	-33,36
Stropní konstrukce z KVH hranolů	-115,01
Obvodová stěna Vapis	-5,99
Obvodová stěna Železobeton	-3,77
Vnitřní nosná stěna Vapis	-2,94
Vnitřní nosná stěna Železobeton	-6,35
Vnitřní příčka Vapis P7	-2,24
Vnitřní příčka Vapis 8DF	-2,58
Stropní konstrukce Železobeton	-0,54



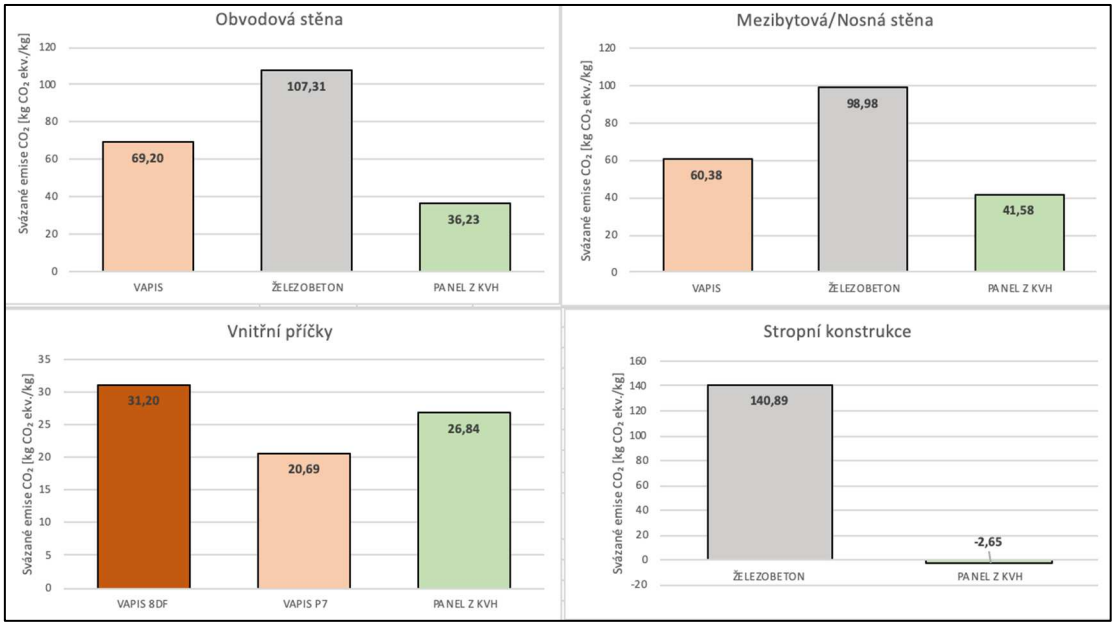
Obr. 43: *Porovnání svázané energie PEI navržených konstrukcí – včetně recyklace*

5.4.2 Vliv recyklace na potenciál globálního oteplování

Záporné hodnoty v tabulce č.8 znamenjí procentuální snížení z původní hodnoty v rámci od kolébky do hrobu. Nižší hodnota jak 100, znamená že celková konstrukce má na konci životního období možný pozitivní vliv. U železobetonové obvodové stěny vyšla kladná hodnota díky fasádnímu polystyrenu na jehož rycklaci je potřeba další energie. Vysoké hodnoty skladeb dřevostavby jsou díky dřevěným prvků. Nové porovnání potenciálu globálního oteplování navržených konstrukcí je na obrázku č.44.

Tab. 8: *Procentuální změna GWP při započtení potenciálu recyklace*

Název konstrukce	Změna GWP [%]
Obvodová stěna z KVH hranolů	-27,56
Mezibytová stěna z KVH hranolů	-27,77
Vnitřní příčka z KVH hranolů	-28,24
Stropní konstrukce z KVH hranolů	-106,51
Obvodová stěna Vapis	-4,28
Obvodová stěna Železobeton	2,74
Vnitřní nosná stěna Vapis	-1,75
Vnitřní nosná stěna Železobeton	-4,93
Vnitřní příčka Vapis P7	-1,50
Vnitřní příčka Vapis 8DF	-1,63
Stropní konstrukce Železobeton	3,94



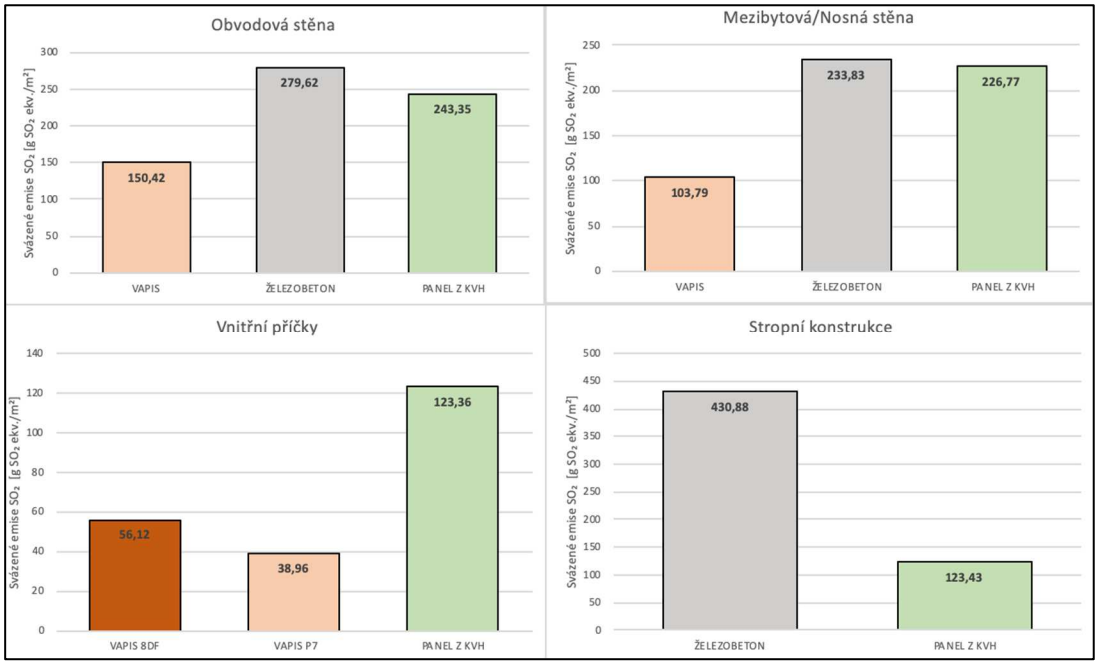
Obr. 44: *Porovnání potenciálu globálního oteplování GWP navržených konstrukcí – včetně recyklace*

5.4.3 Vliv recyklace na potenciál okyselování prostředí

Záporné hodnoty v tabulce č.9 znamenají procentuální zlepšení, kladné hodnoty znamenají naopak zhoršení. Dřevo v tomhle ohleduje nedosahuje výrazných hodnot, proto rozdíly nejsou tak výrazné jak u předchozích porovnání. V této části nemá žádný materiál zápornou hodnotu potenciálu okyselování prostředí ani po uvážení potenciálu recyklace. Avšak k určitému snížení dochází. Nové porovnání potenciálu okyselování prostředí navržených konstrukcí je na obrázku č.45.

Tab. 9: *Procentuální změna AP po započtení potenciálu recyklace*

Název konstrukce	Změna AP [%]
Obvodová stěna z KVH hranolů	-6,80
Mezibytová stěna z KVH hranolů	-3,54
Vnitřní příčka z KVH hranolů	-13,90
Stropní konstrukce z KVH hranolů	-18,76
Obvodová stěna Vapis	-8,25
Obvodová stěna Železobeton	-1,91
Vnitřní nosná stěna Vapis	-1,72
Vnitřní nosná stěna Železobeton	-4,63
Vnitřní příčka Vapis P7	-1,35
Vnitřní příčka Vapis 8DF	-1,53
Stropní konstrukce Železobeton	1,52



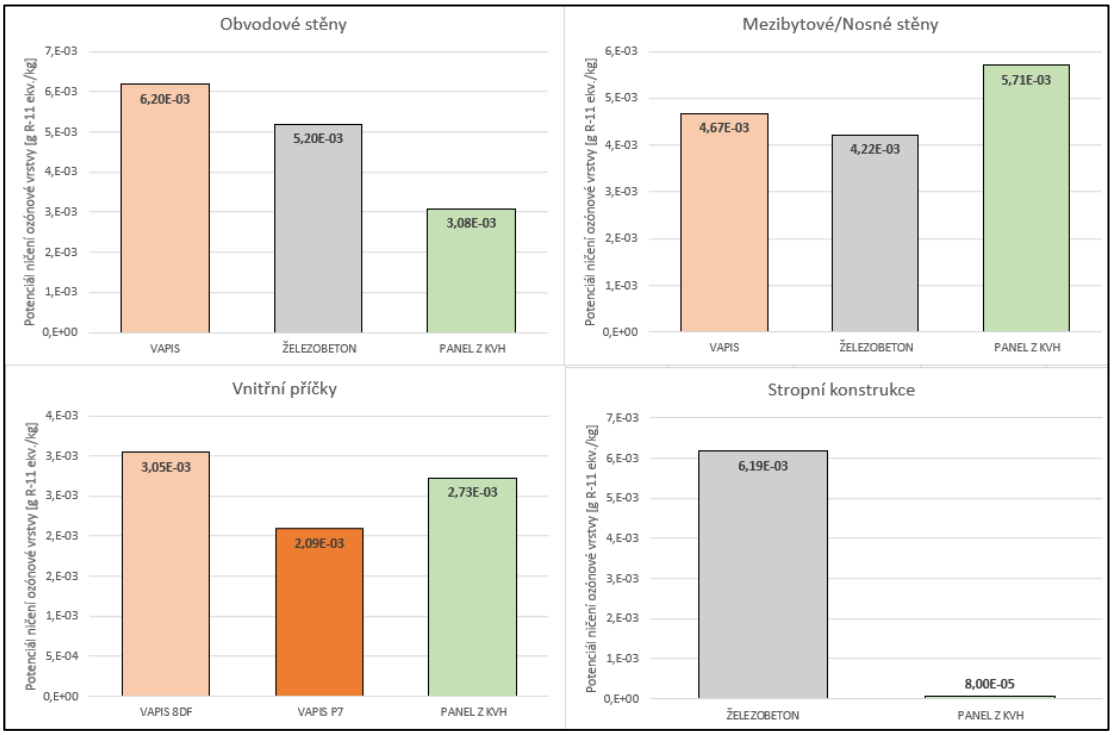
Obr. 45: *Porovnání potenciálu okyselování prostředí AP navržených konstrukcí – včetně recyklace*

5.4.4 Vliv recyklace na potenciál ničení ozónové vrstvy

Záporné hodnoty v tabulce č.10 znamenají procentuální zlepšení, kladné hodnoty znamenají naopak zhoršení. Záporných hodnot dosahuje pouze konstrukční dřevo pro latě a KVH. Vápenopískové cihly majít nulový potenciál. Obvodové stěny mají snížení potenciálu z deklarovaného potenciálu recyklace fasádního polystyrenu. Zde vzniká zvláštní situace, kdy podlahový polystyren má kladnou hodnotu potenciálu recyklace a zvyšuje tak celkovou hodnotu skladby železobetonového stropu. Nové porovnání potenciálu ničení ozónové vrstvy navržených konstrukcí je na obrázku č.46.

Tab. 10: *Procentuální změna ODP po započtení potenciálu recyklace*

Název konstrukce	Změna ODP [%]
Obvodová stěna z KVH hranolů	-31,74
Mezibytová stěna z KVH hranolů	-30,45
Vnitřní příčka z KVH hranolů	-32,47
Stropní konstrukce z KVH hranolů	-98,01
Obvodová stěna Vapis	-4,91
Obvodová stěna Železobeton	-5,80
Vnitřní nosná stěna Vapis	0,00
Vnitřní nosná stěna Železobeton	0,00
Vnitřní příčka Vapis P7	0,00
Vnitřní příčka Vapis 8DF	0,00
Stropní konstrukce Železobeton	5,60



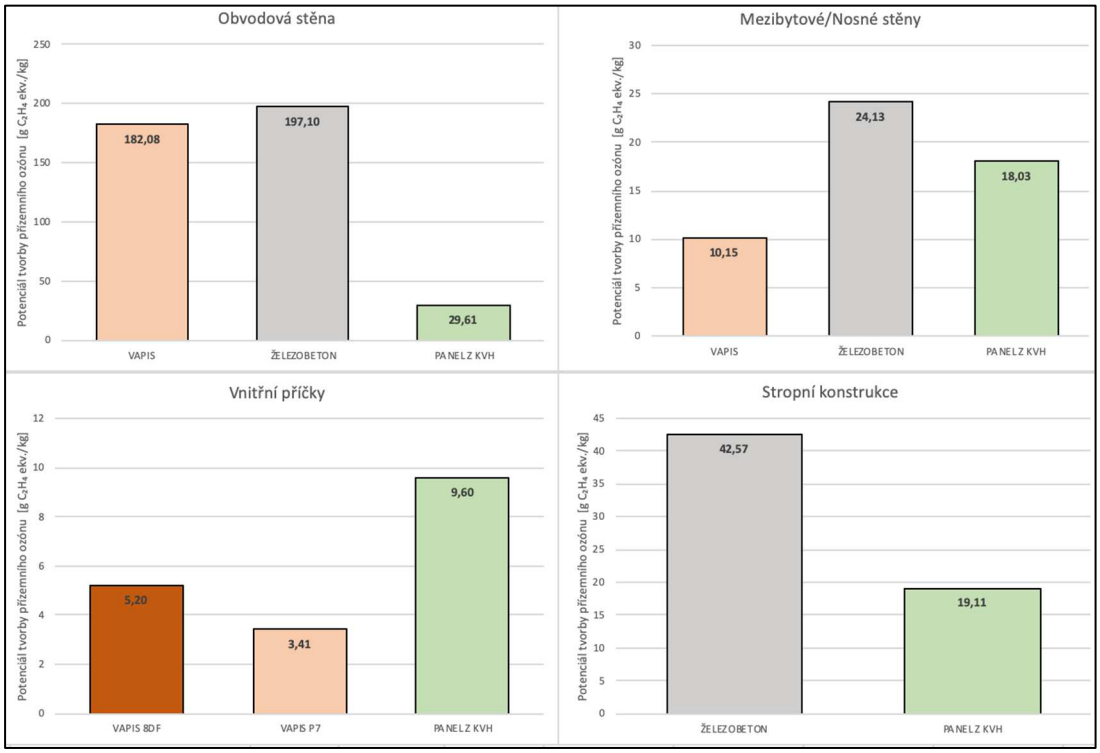
Obr. 46: *Porovnání potenciálu ničení ozónové vrstvy ODP navržených konstrukcí – včetně recyklace*

5.4.5 Vliv recyklace na potenciál tvorby přízemního ozónu

Záporné hodnoty v tabulce č.11 znamenají procentuální zlepšení, kladné hodnoty znamenají naopak zhoršení. Negativní vliv potenciálu recyklace má uvedena v EPD deska OSB. Z toho důvodu došlo ke zhoršení potenciálu tvroby přízemního ozónu u stropní konstrukce dřevostavby. Připsáním potenciálu recyklace došlo k nejmešní změně oproti jiným sledovaným veličinám enviromentálního dopadu. Nové porovnání potenciálu ničení ozónové vrstvy navržených konstrukcí je na obrázku č.47.

Tab. 11: *Procentuální změna POCP po započtení potenciálu recyklace*

Název konstrukce	Změna POCP [%]
Obvodová stěna z KVH hranolů	-2,46
Mezibytová stěna z KVH hranolů	-3,85
Vnitřní příčka z KVH hranolů	-4,50
Stropní konstrukce z KVH hranolů	3,45
Obvodová stěna Vapis	-0,48
Obvodová stěna Železobeton	-0,66
Vnitřní nosná stěna Vapis	-1,38
Vnitřní nosná stěna Železobeton	-2,70
Vnitřní příčka Vapis P7	-1,20
Vnitřní příčka Vapis 8DF	-1,30
Stropní konstrukce Železobeton	-3,45



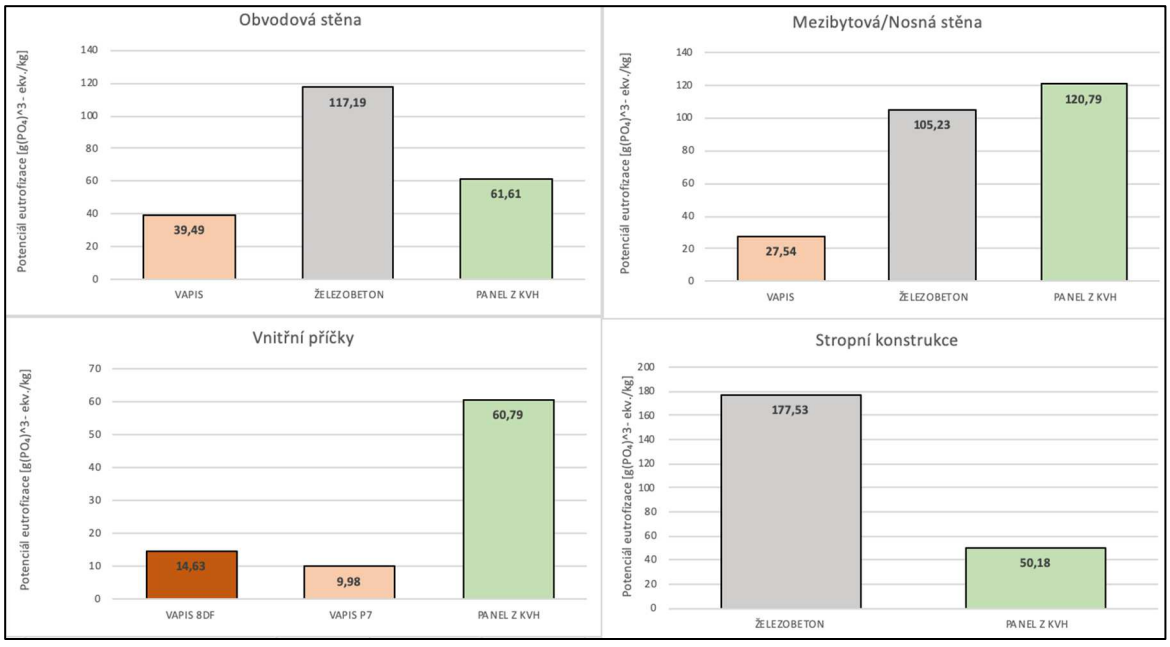
Obr. 47: *Porovnání potenciálu tvorby přízemního ozónu POCP navržených skladeb konstrukce – včetně recyklace*

5.4.6 Vliv recyklace na potenciál eutrofizace prostředí

V této oblasti rovněž nedošlo k velkým změnám. Hodnoty v tabulce č.12 jsou v řádu jednotek %. Ke zhoršení potenciálu eutrofizace prostředí došlo jen u stropní desky díky podlahovému polystyrenu Rigifloor. Nové porovnání potenciálu eutrofizace navržených konstrukcí je na obrázku č.48.

Tab. 12: *Procentuální změna EP po započtení recyklace*

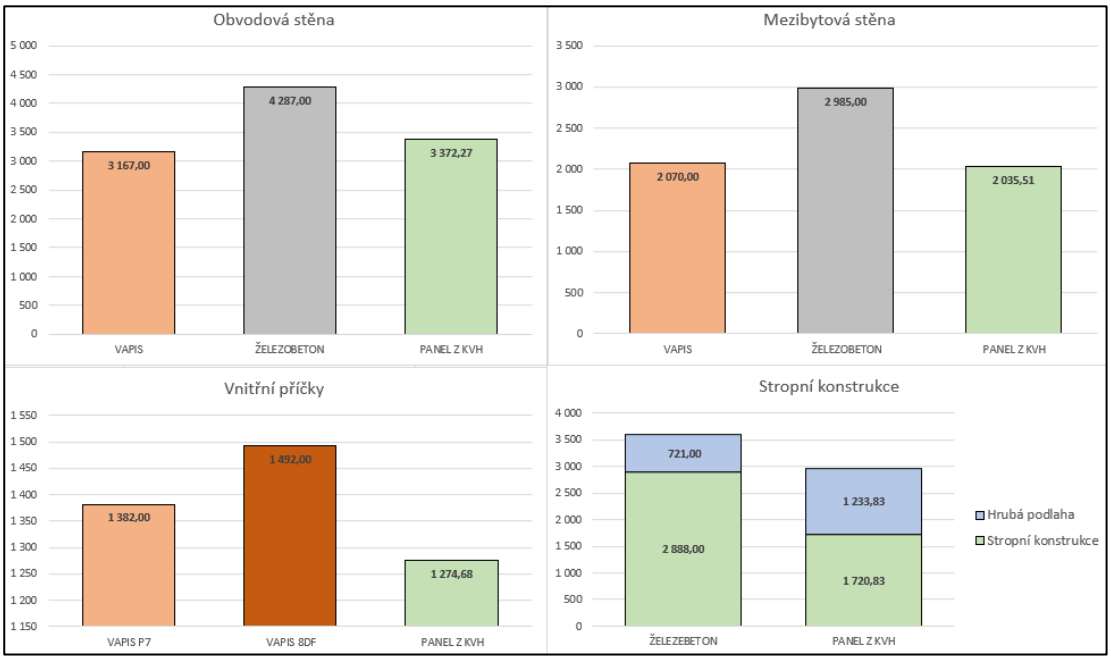
Název konstrukce	Změna EP [%]
Obvodová stěna z KVH hranolů	-2,55
Mezibytová stěna z KVH hranolů	-0,09
Vnitřní příčka z KVH hranolů	-15,53
Stropní konstrukce z KVH hranolů	-1,44
Obvodová stěna Vapis	-2,04
Obvodová stěna Železobeton	-2,03
Vnitřní nosná stěna Vapis	-0,71
Vnitřní nosná stěna Železobeton	-1,98
Vnitřní příčka Vapis P7	-0,57
Vnitřní příčka Vapis 8DF	-0,64
Stropní konstrukce Železobeton	2,53



Obr. 48: *Porovnání potenciálu eutrofizace prostředí EP navržených skladeb konstrukcí – recyklace*

5.5 Porovnání z ekonomického hlediska

V následujícím obrázku č.49 jsou grafy porovnání cen na 1 m^2 jednotlivých skladeb referenční stavby. Nejdražší vyšla železobetonová konstrukce. Dražší je skladba hrubé podlahy u dřevostavby, i tak je v součtu celá stropní konstruce levnější. Obvodová stěna VAPIS je podle výpočtu levnější než obvodová stěna dřevostavby. Vnitřní nosná stěna VAPIS je dražší než mezi bytová stěna dřevostavby, rozdíl je však velmi malý. Obě varianty dělících příček jsou dražší než varianta dřevostavby. Rekapitulace cen je uvedena v tabulce č.13.



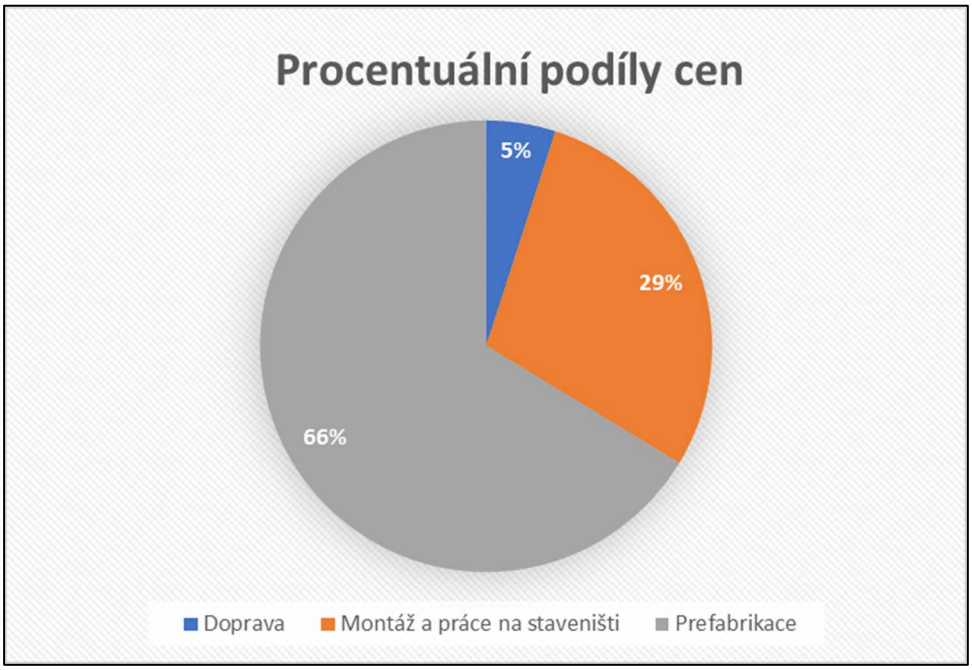
Obr. 49: *Porovnání cen jednotlivých skladeb*

Tab. 13: *Rekapitulace cen jednotlivých konstrukcí*

Skladby navrhované dřevsotavby	**Tl. kce [mm]**	**Cena [Kč/m²]**
Vnější obvodová stěna dřevěný panel z KVH hranolů	340	3372
Mezibytová nosná stěna z KVH hranolů	385	2036
Příčky z KVH hranolů	150	1275
Stropní panel	256	1721
Plovoucí hrubá podlaha	145	1234
Skladby Referenční budovy		
Vnější obvodová stěna VAPIS QUADRO-KS	415	3167
Nosná stěna VAPIS QUADRO-KS	270	2070
Vnější obvodová stěna ze ŽB	415	4287
Vnitřní stěna ze ŽB	270	2985
Vnitřní příčka VAPIS P7	100	1382
Vnitřní příčka VAPIS 8DF	145	1492
Stropy deskove ze ŽB	200	2888
Skladba hrubé podlahy	120	721

Všechny výpočty z tabulkového editoru Microsoft excel jsou k nahlédnutí v příloze II.

Výsečový graf č.7 popisuje podíly prefabrikace, dopravy prefabrikátů na staveniště a montáž na staveništi na výsledné ceně. 2/3 nákladů jsou ve fázi prefabrikace, ve 29% jsou zahrnuty práce na staveništi a 5% tvoří doprava. Doprava materiálu do panelárny a dodatečného materiálu na staveniště nebyla ve výpočtu zohledněna. Zásadní pro konkurenceschopnost je zajištění spolehlivé dopravy panelů z panelárny na staveniště.



Graf. 7: *Rozdělení cen u dřevostavby*

Tabulka č.14 zachycuje možné úspory nákladů investorovi. Pro režie stavebníka je zásadní doba výstavby, čím kratší, tím méně musí platit TDI, koordinátora BOZP a vlastní managment projektu. Procentuální sazby jsou odhadnuty podle tabulek. [49] Délka výstavby referenční budovy odpovídá reálnému harmonogramu odsouhlaseným investorem a generálním dodavatelem. Celkové náklady jsou také převzaty z projektu referenční budovy. Zkrácená doba výstavby je vztažena pouze na modelovou situaci v této diplomové práci, což je dokončení hrubé stavby. Montáž podlah, kontaktního zateplovacího systému a omítek není započítána, jelikož je časovým zařazením mimo výpočetní model. Skutečné zkrácení celého projektu může být daleko větší. Tento výpočet nám ukazuje, jaké reálné peníze se dají ušetřit, když se projekt zkrátí o den.

Tab. 14: *Teoretické snížení režijních investora.*

Celkové náklady na stavbu	110 000 000,00	Kč
Náklady na TDI a KOBOZP	2,00	%
Náklady na režie stavby - developer	1,00	%
Plánovaná doba výstavby	370,00	den
Zkrácení doby výstavby	26	den
Denní režijní náklady developera + TDI + KOBOZP	8 918,92	Kč/den
Cekové ušetřené náklady	**232 895,27**	**Kč**

V následující tabulce č.15 a č. je popsáno kolik jednotlivé konstrukce zaberou místa v rámci užitkové plochy bytu. Referenční budova má sekci A a B a o čtyřech nadzemních podlažích. Sekce jsou téměř identické v každém podlaží. Proto byla pro popsání tohoto problému vybrána typová sekce A v 1.NP. Z výsledků je patrné, že rozdíl zabrané plochy je 0,5 m^2.

Tab. 15: *Porovnání zabrané plochy konstrukcí*

Referenční budova BD Stochovská 1.NP sekce A		
Název skladby	tloušťka [mm]	celková zabraná plocha konstrukcí [m2]
Obvodová stěna ze ŽB a VAPIS QUADRO	420	27,55
Vnitřní stěna ze ŽB a VAPIS QUADRO	270	10,40
Vnitřní příčka VAPIS 8DF	145	7,70
Vnitřní příčka VAPIS P7	100	8,50
Celkem		54,15
Navrhovaná dřevostavba 1.NP sekce A		
Název skladby	tloušťka [mm]	celková zabraná plocha konstrukcí [m2]
Vnější obvodová stěna	340	22,35
Mezibytová příčka	385	15,2
Vnitřní příčka	150	17,1
Celkem		54,65

5.6 Rekapitulace dat

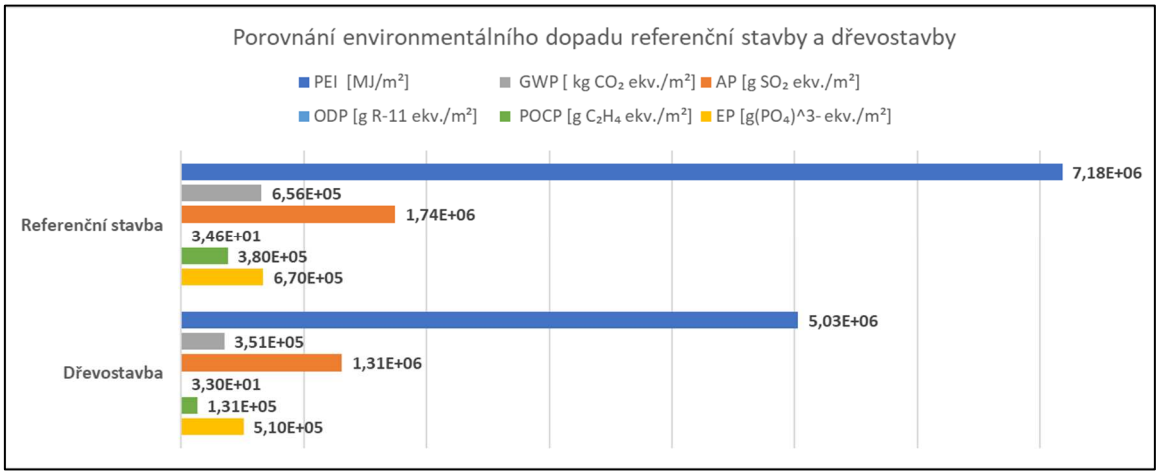
V této části jsou grafy s rekapitulací výsledků uvedených v kapitolách 5.3–5.5. Grafy zobrazují výsledky vztažené na celkové plochy referenční budovy.

Graf č.8 popisuje celkový možný environmentální dopad dřevostavby a referenční stavby. Výsledné hodnoty jsou ve všech oblastech nižší v případě

dřevostavby. Největší rozdíl je v porovnání potenciálu globálního oteplovaní a v potenciálu tvorby přízemního ozónu. Nejmenší rozdíl je potenciálu ničení ozónové vrstvy.

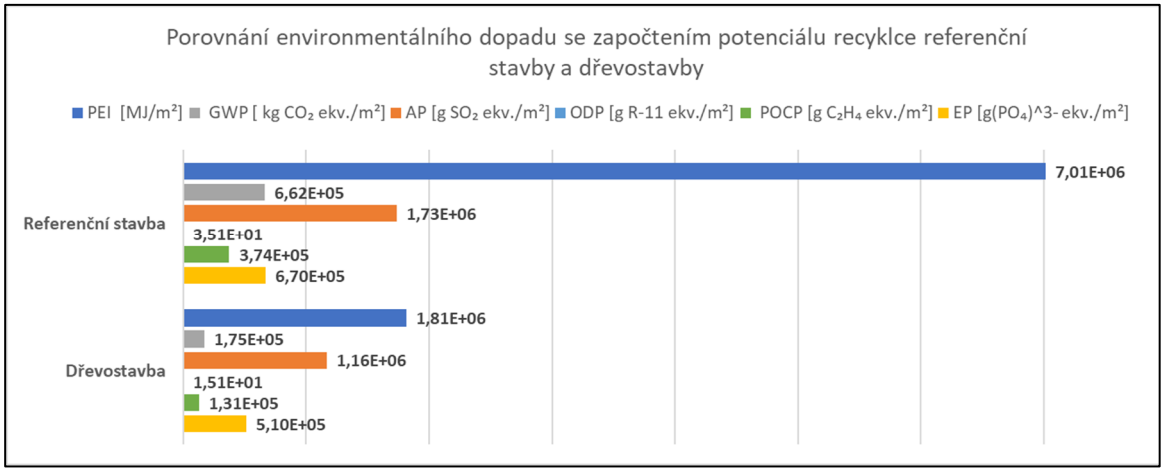
Hodnoty potenciálu ničení ozónové vrstvy jsou řádově nejmenší a v měřítku grafu nejsou graficky viditelné, jsou však popsány číselnou hodnotou.

V tomto porovnání je započítán i potenciál produkce CO_2 logistiky, procesů výstavby a prefabrikace.



Graf 8: *Porovnání environmentálního dopadu celé referenční stavby a dřevostavby v rozmezí od kolébky do hrobu*

Graf č.9 porovnává výsledky environmentálního dopadu se započteným potenciálem recyklace. Dřevostavba v tomto porovnání dosahuje ještě lepších výsledků než v předchozím grafu. Je to dáno zejména dřevěným materiálem a více daty k výpočtu.



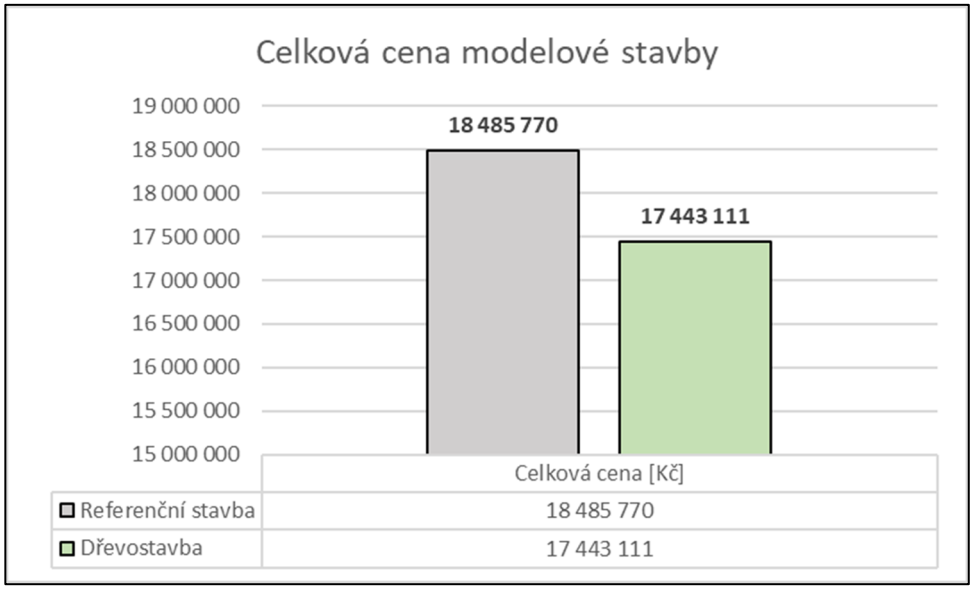
Graf 9: *Porovnání environmentálního dopadu celé referenční stavby a dřevostavby se započítáním potenciálu recyklace*

Tabulka č.16 popisuje procentuální rozdíl celkových hodnot environmentálního dopadu po připočítání potenciálu recyklace. Procentuální hodnoty se záporným znaménkem znamenají zlepšení, naopak kladné hodnoty znamenají přírůstek k hodnotám environmentálního dopadu.

Tab. 16: *Celkové porovnání změny environmentálního dopadu po započtení potenciálu recyklace*

Celá stavba	PEI [MJ/m²]	GWP [kg CO_2	AP [g SO_2 ekv./m²]	EP [g$(PO_4)^{3-}$ ekv./m²]	ODP [g R-11 ekv./m²]	POCP [g C_2H_4 ekv./m²]
Referenční stavba	-2,36	0,87	-0,58	1,39	1,57	-1,60
Dřevostavba	-63,92	-50,22	-11,01	-4,97	-54,32	-0,31

Graf č.10 popisuje celkové ekonomické porovnání modelové stavby. Rozdíl je bezmála 1 milion korun.



Graf 10: *Celkové ekonomické porovnání*

6. Diskuze výsledků, kvality dat a výpočtu

6.1 Diskuze výpočetního modelu

Výpočetní model nezahrnuje celou stavbu. Pro přesnost a porovnání environmentální dopadu a ekonomiky by to bylo bezesporu přínosem. Vstupujících faktorů by bylo daleko více, zejména pak stupeň prefabrikace. Někteří dodavatelé dřevostaveb jsou schopni dodávat panely v tom nejvyšším stupni. To znamená, že je již hotová fasáda, vnitřní rozvody a jsou namontovaná okna. K úplnému porovnání je potřeba druhý kompletní projekt. Takové projekty obvykle neexistují, že je jedna stavba vyprojektována ve dvou odlišných systémech. Kočí a Petrík ve své studii porovnávali dvě podobné stavby rodinného domu od RD Rýmařov a zděná stavba z cihel Heluz. [60] Pro tuto studii měli kompletní dokumentace a porovnávali celou stavbu. Najít dva takhle podobné bytové domy není úplně reálné. Další důvod je použití odborného programu, porovnávat celou budovu v Excelu by bylo mimořádně náročné a vykazovalo by velkou chybovost.

Předělat celý projekt referenční stavby na dřevostavbu může být téma na další diplomovou práci.

Důvodem pro zvolenou referenční stavbu z VAPIS je, že tento systém je velmi oblíbený na pražském developerském trhu a tato práce popisuje konkurence schopnost panelových dřevostaveb z míst, které jsou od Prahy vzdálenější. Volba pražského projektu je z důvodu, že je to místo s největším tržním potenciálem.

Kvalita vstupních dat normohodin, spotřeba elektrické energie strojů jsou ze zkušeností dotázaných odborníků z dřevo-stavebního průmyslu. Neexistují žádné veřejně přístupné normohodiny podložené měřením. Zajisté největší firmy takovéto podklady mají, je to ale součást firemního know-how, které je tajné.

Určené hranice modelu jsou dodrženy pro obě posuzované varianty.

Posuzování kompletního LCA se započtením i odstranění stavby, s ní spojené náklady, vznik odpadu a recyklace, je obrazně řečeno – luštění z křišťálové koule. Je to několika důvodů. Nedostatek dat byl již několikrát zmíněn. Spousta výrobců neví, jak se budou jejich výrobky za 50 let likvidovat. Veřejnost doufá, že stavby vydrží i déle jak padesát let. Všechny výpočty EPD jsou vztaženy k současnému energetickému mixu, který, doufejme, směřuje k méně emisím uhlíku.

6.2 Diskuze navržených skladeb dřevostavby

Katalog skladeb pro dřevostavby od firmy Rigips [51] je dostačující podklad pro navrhování dřevostaveb rodinných domů. Pro navrhování vícepodlažních dřevostaveb není úplně dostačující. Chybí konstrukční detaily napojení stropních konstrukcí na stěny a korekce ke vzduchovým a kročejovým neprůzvučnostem.

Skladby dřevostaveb jsou kompozitní materiály a posuzování vlastních skladeb je ekonomicky náročné a časově zdlouhavé. Další nevýhodou může být, že investoři neradi riskují a experimentují s novými, praxí neověřenými technologiemi.

Spousta konstrukčních řešení je uvedena v knihách o dřevostavbách ze zahraničí [1, 12, 61]. Tyto knihy jsou odkázány na zahraniční normy, což může být v praxi problém. Nicméně pro české dodavatele dřevostaveb můžou být výborným zdroje inspirace. Německo-rakousko-švýcarské databáze obsahující nespočet konstrukčních řešení a detailů již realizovaných staveb. [62]

V porovnání stavebně-fyzikálních vlastností dokážou dřevostavby splnit všechny normové požadavky i na bytové domy. Nejlepších výsledků dokážou skladby dřevostaveb dosáhnout v hodnotách součinitele prostupu tepla U. V menších tloušťkách konstrukce dosahuje stejných hodnot jako masivní skladby. Dřevostavby jsou díky tomu vhodné pro stavbu nízkoenergetických budov.

Dřevostavby mají problém dosáhnout požadovaných akustických hodnot. Stropní konstrukce má deklarovanou kročejovou neprůzvučnost na hraně normativních požadavků. Mezi bytová stěna nemá ještě oficiálně deklarovanou hodnotu vzduchové neprůzvučnosti. Je však již použitá v prvním projektu bytové domu v Jevíčku.[63] Jakých hodnot ve skutečnosti dosahuje v této stavbě její vzduchová neprůvzdušnost není změřené.

Skladby dřevostaveb jsou vhodné pro třídy požární odolnosti REI(30-60)DP(2-3). Nejdůležitějším faktorem je povolená požární výška dřevostaveb. Nyní je to 12 metrů, to odpovídá 5 nadzemním podlažím. Pro český realitní trh je to dostačující.

Návrh skladeb není podpořen statickým výpočtem. Ve skutečnosti se tak můžou dimenze nosných prvků lišit, obzvláště u obvodových stěn a stropních nosníku lze v reálném projektu očekávat větší průřezy.

6.3 Diskuze porovnání environmentálního dopadu

Základem pro porovnání environmentálního dopadu je dostatek dat od výrobců stavebních materiálů ve formě EPD. Problém těchto dokumentů je, že si výrobce sám stanoví rozsah výpočtu. České EPD jsou většinou v rozsahu od kolébky do hrobu v životnosti 50 let. Skutečnost, že se z materiálů po 50 letech funkce stává nepoužitelný odpad nezapadá do filozofie trvale udržitelného rozvoje. Dostupnost českých EPD je na dobré úrovni u některých výrobců. Velké množství materiálů navržených v této práci je z koncernu Saint Gobain, který je v Česku v tomto ohledu na předních pozicích.

Výsledky v této části ukazují jasný pozitivní vliv používání přírodních materiálů ve stavebních výrobcích. Přírodní materiály mají výhodu v započteném biogenním uhlíku a uchované energii. Bez jeho započtení by některé materiály měly horší environmentální dopad než stavební materiály z neobnovitelných zdrojů. Že je to správná cesta si myslí i Grant a kolektiv.[64] Takzvaný vtělený uhlík a kolik ho vlastně započítat je stále předmětem diskuze. V této problematice jsou certifikační systémy LEED a BREAM poněkud rigidní a množství vtěleného uhlíku není dostatečně ohodnoceno, i když je prokázaný pozitivní vliv na cirkulární ekonomiku a nízkoemisní průmysl. [64] Ke kritice současné praxe, počítat EPD pouze v rozsahu od kolébky do hrobu se připojuje i De Wolf a kolektiv[65], poukazuje na nespolehlivost dat a odlišné výstupy z různých programů posuzujících LCA výrobků. V této problematice stále chybí jednotně uznávané referenční hodnoty.

Překvapivá jsou vysoká data výroby materiálu na bázi dřeva. Navzdory tomu mají dřevovláknité izolace řádově nižší environmentální dopad než polystyreny a minerální izolace. V objemu používaných izolací v dřevostavbách by bylo určitě vhodné používat více dřevovláknitých izolací. Jenomže, tyto izolace se v Česku nevyrábí a musí se vozit ze zahraničí, což zvyšuje jejich cenu a s nimi environmentální dopad. Dalším problémem můžou být požární předpisy a s nimi spojená certifikace.

Velmi nízkých hodnot přepočtených na 1 kg materiálu dosahuje beton. Vypracovat přesné EPD betonu je těžký úkol, jelikož se receptura betonu velmi liší podle místa, času a způsobu použití. U betonu je tedy vhodné použít strukturální hodnoty environmentálního dopadu. Nedávný výzkum betonových konstrukcí dokázal, že beton během své životnosti absorbuje zpět určité množství CO_2. Kolik a

za jakých okolností není zatím úplně jasné.[66] Z toho plyne, že dnes dostupná data o environmentálním dopadu betonu můžou být ve skutečnosti nižší.

Nejhorších výsledků bezpochyby dosáhl hliník ve všech hodnocených kategoriích.

Nevalných výsledků v celkovém hodnocení dosahuje také minerální izolace. V této práci je posuzovaná kamenná vlna z čediče, která má velké energetické nároky na výrobu.

V hodnocení jsou zastoupeny dvě sádrokartonové desky Rigistabil a akustický deska MA. Rigistabil jako multifunkční deska má horší hodnoty ve všech kategoriích.

Ve dvou variantách je zastoupen ve výpočtu také polystyren, a to fasádní EPS GreyWALL a podlahový Rigifloor. Polystyren GreyWALL vykazuje daleko horší environmentální dopad než Rigifloor a fasádní minerální izolace TF PROFI z obvodové konstrukce dřevostavby.

Z horších výsledků GreyWALL a desek Rigistabil, lze usoudit, že vylepšené materiály různými aditivy dosahují lepších vlastností, mají však horší environmetální dopad. V případě GreyWALL to můžou být samozhášivé prostředky, které jsou nutné pro použití polystyrenu na fasádách.

Vápenopískové bloky dosahují dobrých výsledků, díky své energeticky nenáročné výrobě. Vápenopískové cihly se nepálí jako keramické cihly, nechávají se vytvrzovat při 200°C. [67]

V porovnání uhlíkové stopy výrobních procesů a logistiky má horši výsledky dřevostavba z důvodů prefabrikace a dvojnásobné logistiky. Kdyby však byla panelárna v modelové situaci vzdálená od staveniště 100 km, tak by se rozdíl vyrovnal. Je to z důvodů, že se uhlíková stopa dopravy počítá přes tunokilometry. Dřevostavba má mnohem nižší hmotnost než referenční masivní stavba. Tento výpočet nezahrnuje skutečný počet nákladních aut a naplnění jejich přepravní kapacity. To může působit nepřesnosti celkového výsledku. Přesný výpočet by byl však velmi zdlouhavý.

V celkovém porovnání, i po započítání větší uhlíkové stopy výroby a logistiky, má dřevostavba menší environmentální dopad ve všech hodnocených parametrech.

6.4 Diskuze porovnání potenciálu recyklace

Výpočet této části nemá sto procentní vypovídající hodnotu z důvodů nedostatků relevantních dat. Výsledky v této části ale prokazují významný vliv na posuzování environmentálního dopadu, když jsou data o potenciálu recyklace k dispozici. V úvodu kapitoly 5.4 jsou uvedeny materiály ke kterým jsou data o potenciálu recyklace k dispozici.

Nejlepších hodnot potenciálu recyklace dosahují materiály na bázi dřeva, zejména pak KVH hranoly. Je to z důvodů minimálního množství aditiv, jako jsou lepidla s formaldehydem, ochranné látky atd. Nejmenší zlepšení vlivem potenciálu recyklace je u okyselování a eutrofizace prostředí. Jeden z důvodů je intenzivní těžba dřeva, která zvyšuje acidifikaci a eutrofizaci v dané lokalitě.[27] Dalším důvodem počítání s možností spalování dřeva, které se sice považuje za uhlíkově neutrální, ale produkuje jiní emise SO_x a NO_x, obzvláště při spalování v lokálních kotlích. [42] V celkovém součtu všech hodnot environmentálního dopadu u dřevěných výrobků jsou záporné hodnoty u svázané energie PEI a u potenciálu globálního oteplování GWP. U KVH hranolů má záporné hodnoty i potenciál ničení ozónové vrstvy. Záporné hodnoty znamenají pozitivní vliv na životní prostředí.

O kapitolu dříve zmíněný koncern Saint-Gobain má sice u úctyhodné části svých výrobků vypracované EPD, ale u velmi málo výrobků počítá s recyklací. Podle informací zaměstnanců divize Rigips pracují na možnostech recyklace sádrokartonů. V této chvíli je možná recyklace pouze sádrokartonu bez aditiv, to je obyčejná sádrokartonová deska a akustická deska. Recyklaci protipožárních a voděodolných komplikuje silikonová přísada. Výrobce sádrokartonů tlačí k recyklaci také využívání odpadního vápence z filtrů uhelné elektrárny. Při politice bezemisní výroby elektrické energie a cílů snížit emise skleníkových plynů do 2050 hrozí, že se dostupnost výrobního materiálu razantně sníží nebo nebude vůbec. Další faktor je, že budou v horizontu 10 let dosluhovat první sádrokartonové konstrukce a odpadů na bázi sádry výrazně přibyde. Skládkování sádry je specifické a sádra nemůže například přijít do styku s komunálním odpadem, kde by byly zbytky jídla. Odpady ze sádry musí být také odděleny od stavební sutě. [46]

Zajímavostí je možnost recyklace polystyren ale recyklace minerální vaty není definována.

Potenciál recyklace má také beton, je vhodný pro použití do zásypů, podkladních vrstev základů, dlažby a cest. Nový potenciál recyklace betonu přináší Skanska ve spolupráci s českou firmou ERC-TECH. Vyvinuly přísadu, která dokáže

ošetřit betonový a cihelný recyklát, tak aby jako plnivo v betonu neodsávalo záměsovou vodu při hydrataci betonu. Recyklát tak může do třídy betonu C25/30 nahradit drcené kamenivo. Skanska deklaruje až 100 % nahrazení kameniva. [68]

6.5 Diskuze ekonomického porovnání

Podle předpokladů dřevostavba vychází levněji než referenční stavba. Rozdíl však není dramatický. Při použití více ekologických materiálu jako je dřevovláknitá izolace lze očekávat navýšení ceny.

Největší otázkou zůstává, jakou cenu můžou mít byty v dřevostavbách cenu na realitním trhu. Podle p. Minářové [62] se byty v dřevostavbách prodávají od 30 tis. Kč/m^2. P. Minářová má projekt bytového domu v Jevíčku na Vysočině, to do značné části ovlivňuje prodejní cenu. Momentálně sráží ceny dřevostaveb nízká likvidita, která odráží nedostatek dlouhodobých zkušeností s dřevostavbami.

Důležité pro dřevostavby je složení nákladů, od který se cena odvíjí. V modelové situaci této práce to jsou celé 2/3 nákladů, které spadají do fáze prefabrikace. Při volbě vyššího stupně prefabrikace by to mohlo být daleko více. Pro dodavatele dřevostaveb to znamená, že má pod kontrolou většinu stavební výroby nosných konstrukcí na jednom místě v prostorách panelárny. To má pozitivní efekt na kvalitu díla, minimalizaci odpadů, větší kontrolu nad režiemi, bezpečnost práce a motivaci pracovníků.

Pro developery a stavebníky je také zajímavá rychlost výstavby. Rychlejší výstavba snižuje náklady na režie, technický dozor a koordinátora BOZP. Z finančního hlediska znamená rychlejší výstavba rychlejší návratnost investice a tím dosahuje lepšího zhodnocení. Z projektů ze zahraničí uvedených v kapitole 3.1.5, lze odhadnout velký potenciál zrychlení výstavby. V porovnání celkových procesů výstavby to může bát zkrácení až o 30 procent. V modelovém případě této práce by to znamenalo úsporu zhruba 1 mil. korun.

U dřevostaveb rodinných domů je často vyzdvihována malá tloušťka konstrukcí. Důsledkem toho je více podlahové plochy na stejném obestavěném prostoru. U vícepodlažních dřevostaveb bytových domů to ale pravda není. Konstrukce dřevostavby kvůli splnění akustických požadavků na mezi bytové stěny a vnitřní dělící příčky mají větší tloušťku než jejich zděné varianty. Tím mažou získanou plochu nižší tloušťkou obvodové konstrukce.

Dřevostavbu prodražuje také větší podíl logistiky, v tomto případě to je 5 %. Tento podíl je velkou proměnou u každého projektu v závislosti na vzdálenosti staveniště od panelárny.

Sledování environmentálního dopadu staveb je pro stavebníky zvyšování nákladů a zatím funguje na dobrovolné bázi. Zvýšení prodejní ceny a atraktivity investovat do certifikovaných budov je diskutabilní.

7. Doporučení pro další postup a vývoj

K dalšímu rozvoji dřevostaveb by pomohlo větší zapojení státu a místních samospráv, které by rychlou a levnou výstavbou mohli vyřešit nedostatek dostupného bydlení nebo také bydlení. Více podlažní dřevostavby můžou být dobrým produktem pro výstavbu sociálního bydlení.

Stále je potřeba zdokonalení skladeb konstrukcí pro dřevostavby obzvláště z hlediska akustiky. Přejímání poznatků ze zahraničí může pomoci k řešení nejen tohoto problému.

Zvýhodňovat dřevostavby jako ekologičtější řešení výstavby není žádoucí. Nicméně by bylo vhodné zvýhodnit daňovými úlevami budovy s environmentálními certifikacemi, bez ohledu na to, jestli se jedná o dřevostavbu. Stavebníci tak budou motivovaní používat certifikované a ekologičtější materiály, i když pořizovací cena bude dražší. Zákonné vyžadování posudku environmentálního dopadu bytové výstavby by mohlo ještě více zkomplikovat dnes již tak složitý systém povolování a tím prodražit ceny bytů. Z toho důvodů, by měl stát při iniciování většího sledování environmentálního dopadu staveb přijít s nějakou kompenzací.

Dále by měl stát iniciovat další rozvoj databáze EPD a výzkum v této oblasti. Podpora materiálu s kompletním EPD, to znamená zohlednění recyklace a opětovného využití by měla být prioritou. Zlepšování hodnot v EPD pozitivně ovlivní vyšší podíl obnovitelných zdrojů při výrobě elektrické energie.

Sledování environmentálního dopadu je časově a ekonomicky náročné. S nástupem technologie BIM, by měli být využity projekční programy k poskytnutí základních informací o environmentálním dopadu navržených materiálů. Už teď databáze materiálů pro projektování v BIM obsahuje obrovské množství informací o materiálech. Přidání informací o environmentálním dopadu by neměl být neřešitelný problém. Automatizované sledování by řešení této problematiky jednoznačně posunulo dopředu.

Dřevostavby mají své limity. Například realizace v zátopových oblastech se můžou dřevostavby zdát jako nerealizovatelné. Pokud se dřevostavby budou stavět na masivních přízemních podlažích z betonu, je to řešení i pro tyto oblasti.

8. Závěr

Z uvedených poznatků lze jednoznačně říci, že dřevostavby mají na stavebním strhu své místo. Technologie dřevostaveb je v Česku stále ve vývoji, ale jistě má velký potenciál. Čeští stavitelé se můžou inspirovat od lídrů v tomto směru, Rakouska, Německa, skandinávských zemí, USA a Kanady.

Technologie dřevostaveb prokazatelně dokáže splnit všechny požadavky na moderní bytovou výstavbu, i když stále mají své limity. Lehké rámové stavby není doporučené stavět vyšší jak 4. nadzemní podlaží. Propagované pozitiva dřevostaveb neplatí ve všech oblastech.

Environmentální dopad je prokazatelně nižší, ale stále jsou pochyby o spolehlivosti vstupních dat k jeho posouzení. Největší předností dřeva je bezpochyby jeho recyklace. Hojně využívané sádrokartony a minerální izolace zatím recyklovat nelze, a to značně sráží ekologická pozitiva dřevostaveb. Podíl náročnější logistiky a prefabrikované výroby způsobil nárust environmentálního dopadu dřevostavby o 5 %.

Nedostatek EPD s deklarovanými potenciály recyklace značí, že stavební průmysl je stále na začátku cesty k trvale udržitelnému rozvoji.

Ekonomické výhody jsou dnes největší v rychlosti výstavby. Výhodnější je i pořizovací cena, který v celkovém objemu netvoří závratný rozdíl. Ekonomické výhody jsou patrné i pro stavitele, a to díky efektivnější a čistší stavební výrobě prefabrikací. Podíl dopravy prefabrikátu na celkové ceně není velkou zátěží v tomto případě byl 5 %.

9. Literatura

[1] JOSEF, Kolb. *Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště, 3., aktualizované vydání*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2011. ISBN 978-80-247-7115-1.

[2] ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. B.m.: Jaga, 2006. ISBN 978-80-8076-043-4.

[3] MARTIN, Růžička. *Moderní dřevostavba*. B.m.: Grada Publishing, a.s., 2014. ISBN 978-80-247-3298-5.

[4] Fremdsprache - Das ist Holz100. *Thoma Holz* [online]. [vid. 2019-11-19]. Dostupné z: https://www.thoma.at/holz100-en/

[5] TYWONIAK, Jan. Lehké obvodové pláště budov – pokročilá řešení s přírodními materiály. In: . 2015.

[6] REDAKCE. Statistika výstavby dřevostaveb 2018 - počet nových dřevostaveb v ČR neustále roste. | *Dřevostavby, časopis o bydlení - DřevoStavby* [online]. [vid. 2019-11-19]. Dostupné z: https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/doporucujeme/5515-statistika-vystavby-drevostaveb-2018-pocet-novych-drevostaveb-v-cr-neustale-roste

[7] *Holzbau Deutschland: Lagebericht* [online]. [vid. 2019-11-19]. Dostupné z: https://www.holzbau-deutschland.de/holzbau_deutschland/handlungsfelder/betriebswirtschaft/lagebericht/

[8] *Wie viel wird in Österreich mit Holz gebaut?* [online]. [vid. 2019-11-19]. Dostupné z: https://www.holzistgenial.at/blog/wie-viel-wird-in-oesterreich-mit-holz-gebaut/

[9] *ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. B.m.: ČNI Praha. 2006

[10] KOLEKTIV, Vaverka Jiří, Havířová Zdeňka, Jindrák Miroslav a. *Dřevostavby pro bydlení*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2008. ISBN 978-80-247-2205-4.

[11] *Dřevostavba | MOISTURE GUARD* [online]. [vid. 2019-11-30]. Dostupné z: https://www.moistureguard.cz/drevostavba/

[12] KAUFMANN, Hermann, Stefan KRÖTSCH a Stefan WINTER. *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau: Detail Atlas*. B.m.: Detail Business Information GmbH, 2017. ISBN 978-3-95553-353-3.

[13] *Software* [online]. [vid. 2019-11-30]. Dostupné z: https://www.sema-soft.de/cz/software/

[14] *Povolené rozměry vozidel v ČR* [online]. [vid. 2019-11-29]. Dostupné z: http://www.doprovody.eu/index.php/cs/home/legislativa-25149/59-rozmery-vozidel

[15] *Products | SOUKUP MACHINERY* [online]. [vid. 2019-11-29]. Dostupné z: http://soukup.cz/en/products/wooden-houses/

[16] *Holzwohnbau Hummelkaserne Graz* [online]. [vid. 2019-11-30]. Dostupné z: https://www.holzistgenial.at/blog/holzwohnbau-hummelkaserne-graz/

[17] *Wohnen am Dantebad, München - Deutsche BauZeitschrift* [online]. [vid. 2019-11-30]. Dostupné z: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Wohnen_am_Dantebad_Muenchen_3143677.html

[18] *6 základních funkčních vrstev dřevostavby - Dřevostavitel.cz* [online]. [vid. 2019-12-01]. Dostupné z: https://www.drevostavitel.cz/clanek/funkcni-vrstvy-drevostavby

[19] *Archiweb - Dobrá akustika půl zdraví* [online]. [vid. 2019-11-23]. Dostupné z: https://www.archiweb.cz/n/press/dobra-akustika-pul-zdravi

[20] HELLMUTH, Tomáš, Dana POTUŽNÍKOVÁ, Pavel JUNEK a Zdeněk FIALA. Obtěžování hlukem: zdravotní problém nebo akustický komfort? *Hygiena* [online]. 2016, **61**(1), 33–35. ISSN 18026281, 18031056. Dostupné z: doi:10.21101/hygiena.a1439

[21] Budovy s téměř nulovou spotřebou energie. *TZB-info* [online]. [vid. 2019-11-25]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie

[22] Budovy s téměř nulovou spotřebou - porovnání energetických standardů. *TZB-info* [online]. [vid. 2019-11-25]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu

[23] AMBROŽOVÁ, Elena. *Dřevostavby s použitím přírodních tepelných a zvukových izolací* [online]. Brno, 2015. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně fakulta stavební. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=156727

[24] DAŇKOVÁ, Dana D. Tepelná izolace a fázový posun: Ptáme se odborníků, jak zabránit přehřívání dřevostaveb. | *Dřevostavby, časopis o bydlení - DřevoStavby* [online]. [vid. 2019-11-28]. Dostupné z: https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/izolace/5576-tepelna-izolace-a-fazovy-posun-ptame-se-odborniku-jak-zabranit-prehrivani-drevostaveb

[25] STAZI, Francesca, Elisa TOMASSONI a Costanzo DI PERNA. Super-insulated wooden envelopes in Mediterranean climate: Summer overheating, thermal comfort optimization, environmental impact on an Italian case study. *Energy and Buildings* [online]. 2017, **138**, 716–732. ISSN 0378-7788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2016.12.042

[26] SONNICK, S., L. ERLBECK, K. SCHLACHTER, J. STRISCHAKOV, T. MAI, C. MAYER, K. JAKOB, H. NIRSCHL a M. RÄDLE. Temperature stabilization using salt hydrate storage system to achieve thermal comfort in prefabricated

wooden houses. *Energy and Buildings* [online]. 2018, **164**, 48–60. ISSN 0378-7788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2017.12.063

[27] *Eutrofizace a acidifikace životního prostředí | Klimatická změna v České Republice* [online]. [vid. 2019-12-02]. Dostupné z: https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/eutrofizace-a-acidifikace-zivotniho-prostredi/

[28] Vybrané požárně technické charakteristiky stavebních výrobků a hmot. *TZB-info* [online]. [vid. 2020-01-05]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13649-vybrane-pozarne-technicke-charakteristiky-stavebnich-vyrobku-a-hmot

[29] KUKLÍK, Petr. Budoucnost využívání dřeva v českém stavebnictví. *Stavenictví*. 2016, (01-02/16), Speciál-dřevostavby.

[30] Hlediska požární bezpečnosti pro dřevostavby v České republice, 2. díl. *TZB-info* [online]. [vid. 2020-01-03]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10625-hlediska-pozarni-bezpecnosti-pro-drevostavby-v-ceske-republice-2-dil

[31] BARTOŠ, Jiří. Školení SEMA software. 22. listopad 2019

[32] KOČÍ, Vladimír. *LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví*. B.m.: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6.

[33] *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things - William McDonough, Michael Braungart - Knihy Google* [online]. [vid. 2019-12-03]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=KFX5RprPGQ0C&printsec=frontcover&dq=Cradle+to+cradle:+remaking+the+way+we+make+things&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwj64pu7mJjmAhWGiVwKHYPlAp8Q6AEILDAA#v=onepage&q&f=false

[34] Life Cycle Assessment (LCA) - Complete Beginner's Guide. *Ecochain* [online]. 4. květen 2019 [vid. 2019-12-03]. Dostupné z: https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-lca-guide/

[35] Ověření environmentálního prohlášení o produktu – EPD. *Výzkumný ústav pozemních staveb - Certifikační společnost, s.r.o.* [online]. [vid. 2019-12-01]. Dostupné z: https://www.vups.cz/sluzby/vyrobky-procesy-a-epd/overeni-environmentalniho-prohlaseni-o-produktu-epd/

[36] *Envimat.cz - Slovník pojmů* [online]. [vid. 2019-12-02]. Dostupné z: http://envimat.cz/metodika/pojmy/#potencial-acidifikace-prostredi

[37] Certifikace udržitelnosti budov - BREEAM, LEED | Enerfis. *Certifikace udržitelnosti budov - BREEAM, LEED | Enerfis* [online]. [vid. 2019-12-01]. Dostupné z: https://www.enerfis.cz/sluzby/zelene-budovy/certifikace-budov-breeam-leed-sbtoolcz/bream-leed-obecne-info

[38] A.S. (HTTPS://WWW.ARODAX.COM), ARODAX. *O SBToolCZ - SBToolCZ* [online]. [vid. 2019-12-01]. Dostupné z: https://www.sbtool.cz/cs/o-sbtoolcz

[39] *93/2016 Sb. Vyhláška o Katalogu odpadů* [online]. [vid. 2019-12-31]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-93#prilohy

[40] RIENESSL, Patrik. Technologie recyklace stavebního a demoličního odpadu. nedatováno, 80.

[41] *Lidové noviny: Skládkový byznys přijde o miliony - Ministerstvo životního prostředí* [online]. [vid. 2019-12-31]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/articles_151111_Manhart

[42] KARELLAS, Sotirios. Renewable Energy Technology - Energy from Biomas. In: *Regenerative Enerigesysteme Vorlesung*. Technische Universität München. 2017.

[43] *Vol 109 No 9 (2015) | Chemické listy* [online]. [vid. 2020-01-01]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/issue/view/25

[44] RENÁTA SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ a Václav KUPILÍK. *Užitek stavebního díla v udržitelném rozvoji - doporučení soudního znalce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04329-5.

[45] *Ceny realizace dřevostaveb*. Praha: ÚRS Praha, 2009. Vím za kolik.

[46] ČERNOŠEK, Zdenek a Lukáš SODOMKA. Výrobky Rigips - použití v dřevostavbách a možnosti jejich recyklace. 11. listopad 2019

[47] *Hodnocení investic: Vnitřní výnosové procento (IRR) - BusinessVize.cz* [online]. [vid. 2019-12-16]. Dostupné z: http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-vnitrni-vynosove-procento-irr

[48] Likvidní hodnota domu. *David Mencl* [online]. 2. červen 2013 [vid. 2019-12-16]. Dostupné z: https://davidmencl.cz/likvidni-hodnota-domu/

[49] SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta. *Oceňování staveb a životní cyklus*. Vydání: první. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-06066-7.

[50] LENOCH, Josef, František KALOUSEK a zemědělská a lesnická univerzita MENDELOVA. *Ekonomická analýza dřevostaveb =: Economic analysis of wood structures: recenzovaná monografie*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-473-0.

[51] *Dřevostavby - podklady pro výrobce dřevostaveb a projektanty* [online]. B.m.: Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. Divize Rigips. březen 2016. Dostupné z: https://www.rigips.cz/dokumentace/literatura-ke-stazeni+konstrukce

[52] *Databáze EPD v ČR | CENIA* [online]. [vid. 2020-01-01]. Dostupné z: https://www.cenia.cz/spolecenska-odpovednost/epd/databaze-epd/

[53] IBU, Super. Veröffentlichte EPDs | Institut Bauen und Umwelt e.V. *IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V.* [online]. [vid. 2020-01-01]. Dostupné z: https://ibu-epd.com/veroeffentlichte-epds/

[54] *Envimat.cz - Katalog fyzikálních a environmentálních profilů stavebních konstrukcí* [online]. [vid. 2019-12-03]. Dostupné z: http://envimat.cz/

[55] *CO2-Logistikrechner: CO2-Rechner zur Berechnung der CO2-Emissionen einzelner Sendungen* [online]. [vid. 2020-01-01]. Dostupné z: https://www.arktik.de/CO2-Bilanz-Logistik/

[56] CO2 emission intensity. *European Environment Agency* [online]. [vid. 2020-01-01]. Dostupné z: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-5

[57] WERNER, Frank. *UMWELT-PRODUKTDEKLARATION - Konstruktionvollholz KVH*. B.m.: Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V. 20. září 2017

[58] HOFFMANN, Josef. *EPD - Isover TF PROFI*. B.m.: Saint-Gobain Construction Products CZ, divize ISOVER. 5 2019

[59] *Rozpočtování staveb. Doc. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D. - PDF Stažení zdarma* [online]. [vid. 2020-01-01]. Dostupné z: https://docplayer.cz/41121289-Rozpoctovani-staveb-doc-ing-renata-schneiderova-heralova-ph-d.html

[60] KOČÍ, Vladimír a Juraj PETRÍK. *Posouzení životního cyklu dřevostavby a cihlového domu*. B.m.: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. 12. leden 2018

[61] SCHULZE, Horst. *Holzbau: Wände — Decken — Bauprodukte — Dächer — Konstruktionen — Bauphysik — Holzschutz*. B.m.: Springer-Verlag, 2015. ISBN 978-3-322-80168-5.

[62] AUSTRIA, Holzforschung. Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter Holzbauteile. *dataholz.eu* [online]. [vid. 2020-01-04]. Dostupné z: https://www.dataholz.eu/

[63] MINÁŘOVÁ, Eva. Projekt bytového domu v Jevíčku technologií lehkých rámových panelů. 24. září 2019

[64] Options for incorporating embodied and sequestered carbon into the building standards framework (AECOM). *Committee on Climate Change* [online]. [vid. 2020-01-04]. Dostupné z: https://www.theccc.org.uk/publication/options-for-incorporating-embodied-and-sequestered-carbon-into-the-building-standards-framework-aecom/

[65] DE WOLF, Catherine, Francesco POMPONI a Alice MONCASTER. Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice. *Energy and Buildings* [online]. 2017, **140**, 68–80. ISSN 0378-7788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2017.01.075

[66] POSSAN, Edna, William A. THOMAZ, Gustavo A. ALEANDRI, Emerson F. FELIX a Ana C. P. DOS SANTOS. CO2 uptake potential due to concrete carbonation: A case study. *Case Studies in Construction Materials* [online]. 2017, **6**, 147–161. ISSN 2214-5095. Dostupné z: doi:10.1016/j.cscm.2017.01.007

[67] *Ekologie* | [online]. [vid. 2020-01-05]. Dostupné z: https://www.kalksandstein.cz/odborne-informace/vapenopiskove-cihly/odborne-informace-ekologie

[68] Český vynález přináší revoluci do stavebnictví. Skanska začala používat recyklovaný beton. *Ekolist.cz* [online]. [vid. 2020-01-05]. Dostupné z: https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/cesky-vynalez-prinasi-revoluci-do-stavebnictvi.skanska-zacala-pouzivat-recyklovany-beton

Seznam obrázků

Obrázek 1:	Maximální rozměry nákladního automobilu bez zvláštního statusu	16
Obrázek 2:	Projekt dřevostavby Wohnen am Dantenbad	17
Obrázek 4:	Příklad výpočtu a sesychání příčného a podélného dřeva	19
Obrázek 5:	Konstrukční řešení napojení svislých a vodorovných konstrukcí	20
Obrázek 6:	Cesty průchodu zvuku přes konstrukci lehkého rámového skeletu	27
Obrázek 7:	Příklady řešení zamezení průchodu zvuku	29
Obrázek 8:	Další příklady řešení zamezení průchodu zvuku	30
Obrázek 9:	Nevhodné řešení mezi bytové dvojité stěny	29
Obrázek 10:	Skautský domov v Baden (Švýcarsko)	32
Obrázek 11:	Příklady skladeb stropních dřevěných stropů	33
Obrázek 12:	Porovnání celkové potřeby energie [kWh/m^2 za rok] RD	34
Obrázek 13:	Skladba pro nízko energetický dům (50 kWh/m^{2}a)	35
Obrázek 14:	Skladba pro 3-Liter-Haus (30 kWh/m^{2}a)	36
Obrázek 15:	Skladba pro pasivní a energeticky plusové domy	36
Obrázek 16:	Schéma možných řešení předstěn v lehké rámové	39
Obrázek 17:	Způsob uložení stropního panelu a řešení	39
Obrázek 18:	Průměrná letní teplota v ČR mezi lety 1981-2010	42
Obrázek 19:	Odhadovaná průměrná letní teplota v roce 2050	42
Obrázek 20:	Nevhodné a vhodné uspořádání nosných stěn	46
Obrázek 21:	Napojení a přenos svislých sil	47
Obrázek 22:	Přenosy zatížení v lehkém rámovém panelu	48
Obrázek 23:	Základ trámového stropu zajišťuje jeho tuhost	48
Obrázek 24:	Vlevo vhodné umístění prostupu stropní konstrukce	49
Obrázek 25:	Bytový dům Hummelkasserne	49
Obrázek 26:	Schéma trvale udržitelného rozvoje	50
Obrázek 27:	Model životního cyklu a jednotlivých fází	51
Obrázek 28:	Schéma výpočtu environmentálního dopadu dřevostavby	63

Obrázek 29:	Schéma výpočtu environmentálního dopadu referenční stavby	64
Obrázek 30:	Výňatek z německého EPD konstrukčního dřeva KVH	65
Obrázek 31:	Výňatek z českého EPD minerální izolace Isover	66
Obrázek 32:	Kalkulační vzorec	67
Obrázek 33:	Navrhovaná skladba obvodové stěny dřevostavby	69
Obrázek 34:	Navrhovaná skladba mezi bytové stěny dřevostavby	71
Obrázek 35:	Navrhovaná skladba dělicí příčky dřevostavby	72
Obrázek 36:	Navrhovaná skladba stropní konstrukce dřevostavby	73
Obrázek 37:	PEI navržených konstrukcí – od kolébky do hrobu	75
Obrázek 38:	GWP navržených konstrukcí – od kolébky do hrobu	76
Obrázek 39:	AP navržených konstrukcí – od kolébky do hrobu	78
Obrázek 40:	ODP navržených konstrukcí – od kolébky do hrobu	79
Obrázek 41:	POCP navržených skladeb konstrukce – od kolébky do hrobu	80
Obrázek 42:	EP navržených skladeb konstrukcí – od kolébky do hrobu	81
Obrázek 43:	PEI navržených konstrukcí – včetně recyklace	82
Obrázek 44:	GWP navržených konstrukcí – včetně recyklace	83
Obrázek 45:	AP navržených konstrukcí – včetně recyklace	84
Obrázek 46:	ODP navržených konstrukcí – včetně recyklace	85
Obrázek 47:	POCP navržených skladeb konstrukce – včetně recyklace	86
Obrázek 48:	EP navržených skladeb konstrukcí – recyklace	87
Obrázek 49:	Porovnání cen jednotlivých skladeb	88

Seznam tabulek

Tabulka 1:	Třídy reakce na oheň stavebních výrobků	44
Tabulka 2:	Třídění konstrukčních částí	44
Tabulka 3:	Porovnání skladeb obvodových konstrukcí	70
Tabulka 4:	Porovnání skladeb mezi bytové a nosné stěny	71
Tabulka 5:	Porovnání skladeb dělících příček	72
Tabulka 6:	Porovnání skladeb stropních konstrukcí	74
Tabulka 7:	Procentuální změna PEI při započtení potenciálu recyklace	82
Tabulka 8:	Procentuální změna GWP při započtení potenciálu recyklace	83
Tabulka 9:	Procentuální změna AP po započtení potenciálu recyklace	84
Tabulka 10:	Procentuální změna ODP po započtení potenciálu recyklace	85
Tabulka 11:	Procentuální změna POCP po započtení potenciálu recyklace	86
Tabulka 12:	Procentuální změna EP po započtení recyklace	87
Tabulka 13:	Rekapitulace cen jednotlivých konstrukcí	88
Tabulka 14:	Teoretické snížení režijních investora	90
Tabulka 15:	Porovnání zabrané plochy konstrukcí	90
Tabulka 16:	Celkové porovnání po započtení potenciálu recyklace	92

Seznam grafů

Graf 1:	Statistika dokončených dřevostaveb v ČR	10
Graf 2:	Podíl jednotlivých druhů dřevostaveb v roce 2018	11
Graf 3:	Efekt jednotlivých procesů výstavby v čase	15
Graf 4:	Složení podnikových odpadů v roce 2016	56
Graf 5:	Porovnání uhlíkové stopy výstavby a logistiky	77
Graf 6:	Rozdělení uhlíkové stopy v rámci modelové situace	77
Graf 7:	Rozdělení cen u dřevostavby	89
Graf 8:	Porovnání environmentálního dopadu celé referenční stavby	91
Graf 9:	Porovnání započtení potenciálu recyklace celé referenční stavby	91
Graf 10:	Celkové ekonomické porovnání	92

Seznam příloh

Příloha I.	Schéma referenční stavby a návrh umístění skladeb dřevostavby
Příloha II.	Výpočty v tabulkovém editoru Microsoft Excel