

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



Diplomová práce

2020

Bc. David Kramný

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kramný** Jméno: **David** Osobní číslo: **460433**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Projektový management a inženýring**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Výroba a výstavba eko domů s využitím BIM

Název diplomové práce anglicky:

Eco housing fabrication and construction using BIM

Pokyny pro vypracování:

- Úvod, vymezení tématu, stanovení cílů a výstupů práce
- Teoretický úvod do problematiky výstavby domů ze slámy, historie a praxe využití v ČR a ve světě
- Ekonomické posouzení technologie
- BIM řešení pro modul sendviče, modulární prefabrikace a montáž na staveništi
- Optimalizace eko bloků
- Závěr, shrnutí, vyhodnocení cílů, diskuze

Seznam doporučené literatury:

KENSEK, Karen M. a Douglas E. NOBLE. Building information modeling: BIM in current and future practice. USA: WILEY, 2014. ISBN 9781118766309.
JONES, Barbara. Building with Straw Bales: A practical manual for self-builders and architects. Cambridge CB4 1GQ, England: Green Books, www.greenbooks.co.uk, 2015. ISBN 978 0 85784 227 5.
EASTMAN, C.: BIM Handbook. 2. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2011. ISBN 978-0-470-54137-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Petr Matějka, Ph.D., katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **24.09.2020** Termín odevzdání diplomové práce: **03.01.2021**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Petr Matějka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústav/katedry

prof. Ing. Jiří Mlýna, CSc.
podpis síkara(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, a výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího diplomové práce Ing. Petra Matějky, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 18. listopadu 2020

.....

Bc. David Kramný

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Pavlovi Wimerovi za přijetí do projektu začínající společnosti maTerra a za poskytnutí relevantních dat pro tvorbu kvalitní a adekvátní formy diplomové práce. Poděkování směřuji také panu Ing. Petru Matějkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k tvorbě práce, z pozice vedoucího diplomové práce.

Výroba a výstavba eko domů s využitím BIM

Eco housing fabrication and construction using BIM

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá využitím technologie a metodiky BIM pro potenciální standardizaci výroby a výstavby ze slaměných panelů. V úvodu je přiblížena problematika práce s alternativním ekologickým materiálem jako je sláma ve stavebnictví. Dále je uvedena koncepce možnosti zavedení v Revitu jako první potenciální krok pro využití výroby a výstavby ekologických panelů. Na základě získaných poznatků byla stanovena ekonomická analýza nákladů na eko panel. Práce může sloužit jako podklad pro zavedení BIM v problematice výroby a výstavby domů ze slámy a další potenciální aplikace.

Klíčová slova: eko panel, eko blok, BIM, Revit, slaměný panel, slaměný blok

Abstract

This master thesis deals with an introduction to the use of BIM technologies and methodology for standardization of production and construction of straw panels. In the introduction, is introduced to the issue of working with alternative ecological materials such as straw in construction. Furthermore, the concept of the possibility for application in Revit is presented as the first step for the use of production and construction of ecological panels. Based on the acquired knowledge, an economic analysis of the costs of the eco panel was determined. The work can serve as a basis for the introduction of BIM in the construction and production of houses from straw and other energy applications.

Key words: eco panel, eco block, BIM, Revit, straw panel, straw block

Obsah

Seznam použitých zkratek	9
1 Úvod a vymezení tématu	10
1.1 Cíl práce	11
1.2 Základní termíny	12
2 Sláma ve stavební produkci	13
2.1 Přírodní stavitelství	14
2.1.1 Sláma	15
2.1.2 Dřevěná kazeta	18
2.1.3 Omítka	19
2.1.4 Základy a větrání	21
3 Historie a praxe využití slámy ve výstavbě	25
3.1 Slaměné domy ve světě	26
3.2 Slaměné domy v ČR	27
4 Ekonomické posouzení technologie	30
4.1 Analýza pro Eko Panelu 2650.1000.350	31
4.1.1 Náklady na materiál	31
4.1.2 Náklady na výrobu	34
4.1.3 Celková cena za Panel	37
5 Informační modelování staveb	38
5.1 Produkt – Eko Panel	40
5.2 Prefabrikace	41
5.3 Elementy Eko Panelu 2650.1000.350	43
5.4 Dřevěná kazeta panelu	45
5.4.1 Pravá a levá stěna panelu	45
5.4.2 Spodní koncová rozpěra S1	46
5.4.3 Horní koncová rozpěra S2	47
5.4.4 Střední rozpěra S3	48
5.4.5 Vzpěra P6	49
5.4.6 Horní nosník	50
5.4.7 Spodní nosník	51

5.5	Aplikace v Revitu – dokumentace	52
5.5.1	Revit – Architektura	53
5.5.2	Parametry – příprava	53
5.5.3	Šablona	57
5.5.4	Střed – uzamčení	58
5.5.5	Omezení.....	59
5.5.6	Pohledy	59
5.5.7	Definice počtu souborů.....	60
5.5.8	Typ vs instance parametru	62
5.5.9	Parametry – implementace	65
5.5.10	Referenční roviny	66
5.5.11	Geometrie Elementů	69
5.5.12	Načtení komponenty – rodiny	70
5.5.13	Prvky.....	75
5.5.14	Eko Panel 2650.1000.350- dřevěná kazeta.....	79
5.6	IFC a Revit rodina.....	80
6	Optimalizace Eko Panelu – spojení elementů	81
6.1	Vruty	81
6.2	Souřadnice bodu pro vruty.....	82
7	Závěr.....	84
8	Seznam použité literatury	87
9	Seznam obrázků.....	89
10	Přílohy	92

Seznam použitých zkratk

BIM	Building information modeling, Informační modelování staveb*
HSV	Hlavní stavební výroba
PSV	Přidružená stavební výroba
M	Montáž
IFC	Industry Foundation Classes, Obecné datové schéma*
ČAS	Česká agentura pro standardizaci

*volný překlad

1 Úvod a vymezení tématu

Při studiu stavebního inženýrství a zájmu o informační modelování staveb proběhlo setkání se známým z dřívější doby. Byla představena myšlenka projektu eko domů. Rozhodující bylo společné usnesení založení firmy maTerra s cílem implementace řešení modulární výstavby slaměných eko domů s využitím vlivu digitalizace, tudíž využití principů a technologie digitálního (odrazu) dvojčete a v důsledku také metodiky informačního modelování staveb. Spolu s možností podílet se na tvorbě společnosti maTerra a akvizicí firmy Rainbow Ecosystem vznikla realizace iniciativy psát na toto téma diplomovou práci a učinit tak první krok společným směrem tohoto projektu.

Objektivní pravdou je skutečnost absence správného vnímání ekologicky a ekonomicky vyváženého přístupu ohledně využití zdrojů v oblasti stavebního průmyslu. Diplomová práce je zaměřena především na oblast výstavby rodinných domů.

Počáteční fakt v této práci byla souvislost zcela nesourodých entit. A to slámy a informačního modelování staveb pro účel výstavby a výroby prefabrikovaných eko panelů.

Téma diplomové práce bylo zvoleno v době, kdy země ekonomicky prosperovala. Samotná realizace již probíhala v období celosvětové karantény způsobené pandemií. Lidé by si měli uvědomovat, že je potřeba životní prostředí chránit a přistupovat k němu zodpovědněji.

1.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je ověření možnosti aplikace využití metodiky a technologie informačních modelů pro aplikaci při výrobě a výstavbě domů ze slámy, a to v podobě slaměných prefabrikovaných panelů. Ověření proběhne tvorbou rodin modelu objektu dřevěné kazety panelu.

Klíčové body:

- 1) **Je sláma vhodný stavební materiál?**
- 2) **Jak byla a je využívána sláma ve světě a u nás?**
- 3) **Zmapování ceny Eko Panelu 2650.1000.350.**
- 4) **Je Revit vhodný pro tvorbu digitálního Eko Panelu 2650.1000.350?**

V této práci je přiblíženo využití technologie a metodiky informačního modelování staveb. V oblasti stavebního oboru, ve které je nejen aktuální, ale nebyla doposud využita a může být považována za klíčovou. Současné 21. století je obdobím, kdy nenacházíme pouze nová řešení, ale také objevujeme zapomenutou technologii, která se dá znovu lépe využít. Sláma je stavebním materiálem, jenž nezatěžuje životní prostředí a je vhodná pro výstavbu obydlí také z pohledu příjemnosti pobytu v interiéru. Metodika informačního modelování staveb zde může pomoci skloubením přínosu dvou odvětví, a to stavebnictví a informačních technologií v kombinaci s robotikou. Digitalizace ve stavebnictví již začala a je potřeba dále prohlubovat znalosti i možnosti využití výhod plynoucích z digitální éry tak, aby byla přínosem pro výstavbu rodinných domů z přírodních materiálů. Myšlenka kombinace historické technologie výstavby domů spolu s nejmodernější technologií informační doby je lákavá již v samém počátku.

1.2 Základní termíny

Eko panel = základní stavební prvek tvořený hlavně slámou a dřevěnou kazetou

Eko blok = stěna, strop či podlaha skládající se z eko panelů

2 Sláma ve stavební produkci

Tato kapitola je věnována náhledu do problematiky stavění se slámou, její výhody a oblasti, na které je třeba dát si pozor. Například – jak správně určit vlhkost slámy, jaké jsou limitní hodnoty a v neposlední řadě, jak je to vlastně s požární odolností slámy, slaměného panelu a jak se takový panel dá zpracovat, aby skutečně požárně odolný byl.

Z pozice autora této práce je nahlíženo na problematiku výstavby ze slámy poněkud nekonvenčním způsobem. Je prosazována teorie vyváženosti využití zdrojů a zbytečného neplýtvání, kdy efektivita je rozhodně na místě. Jsou typy staveb, konstrukcí a různých stavebních objektů, na které se hodí někdy právě jeden, a to navíc specificky upravený stavební materiál. Proč tam, kde se staví dům o jednom až dvou nadzemních podlažích se nemůže využít materiál, kterého je dostatek a je ekonomicky i ekologicky výhodnější?

Mnoho domů do výšky druhého nadzemního podlaží by mohlo být vystavěno ze slámy za použití té správné technologie výroby eko panelů. Lépe se využijí zdroje a vhodněji se alokuje materiál, který je použitelný pro tyto účely. Beton patří na výstavbu, kde je to skutečně nezbytné, jako například mostní konstrukce nebo výškové budovy. Už jen kvůli nutnosti využití pitné vody pro hydrataci cementu.

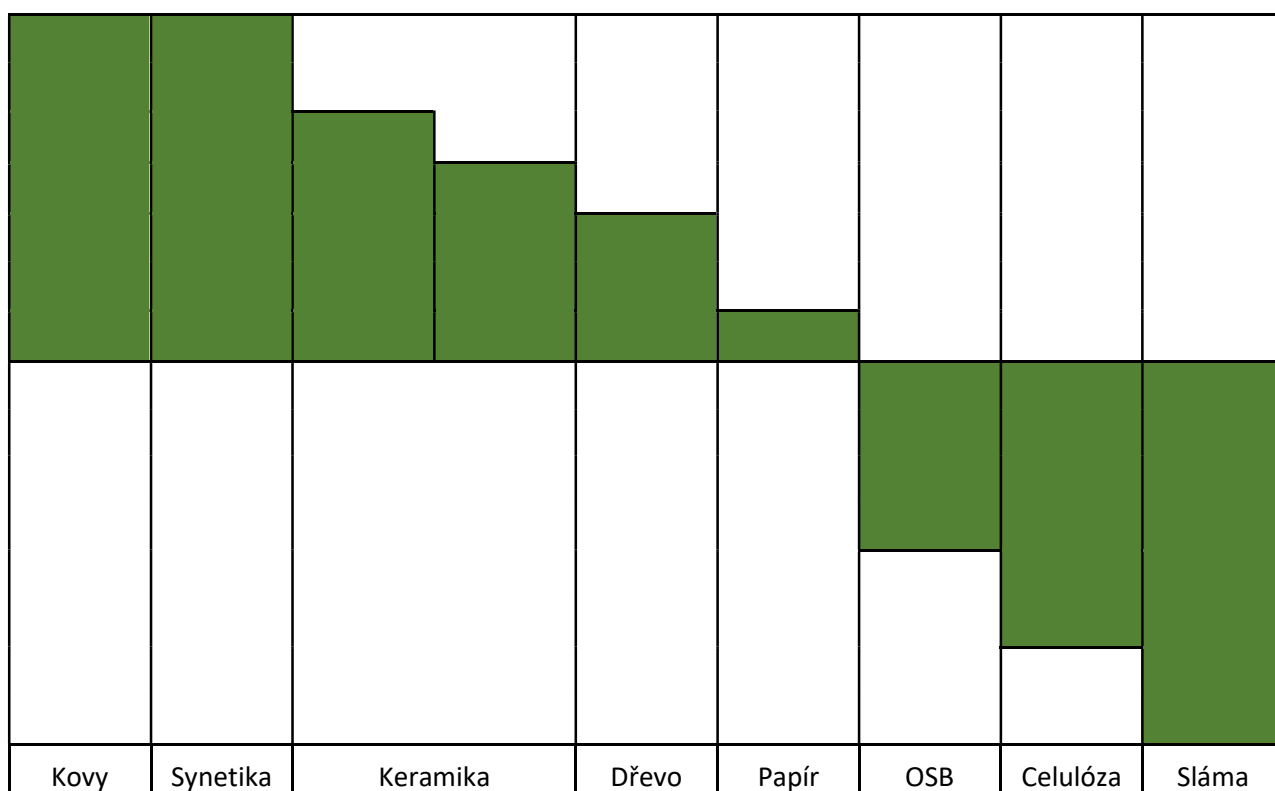
Moderní doba 21. století nepřímo globálně vyžaduje jednat lépe ve prospěch životního prostředí. Fenomén rychlého rozvoje tlačí lidstvo k tomu, abychom se zapomělo, že pro něco už je vhodné, nebo dokonce lepší řešení. Důležitou připomínkou jsou tak postupy předků použité při výstavbě domů. Rovnováha mezi používáním moderních postupů a technologie, která je jednoduchá a ověřená historií.

V této věci se kloubí staré způsoby a nové metody, jak přistupovat k problematice výstavby rodinných domů a podobných stavebních objektů. Bilance je vytvořena metodikou a technologií BIM v rámci používání slámy (a dalších přidružených surovin) jako netradičního a známého materiálu našich předků. S respektem k minulosti je zkoumána budoucnost. Tato elegantní čistá kombinace může těžit z obou pohledů. Na tom by mělo záležet.

„Budovy ze slámy jsou příznivě srovnatelné s konvenčními technikami, pokud jde o náklady na stavbu, a náklady na slámy budou klesat, jakmile se metoda stane běžnější. Jednoduché návrhy, materiály pocházející z místních zdrojů a recyklované materiály a získávání dobrovolnické práce mohou dále pomoci snížit náklady.“ [4]

2.1 Přírodní stavitelství

Skloubení použití ekologicky udržitelného materiálu, kterého je dostatek již při stávající zemědělské produkci, pro účely výstavby rodinných domů a použití metodiky informačního objektově orientovaného modelování ve stavebním průmyslu, je kombinací šetrného přístupu k životnímu prostředí, efektivního využívání zdrojů planety a moderní technologie.



Obr. 1 Podíl CO2 na produkci – vlastní s využitím [4]

Při výrobě konvenčních materiálů dochází k enormní produkci CO₂. Uhlíková stopa je nejvyšší pro kovy, pokračující přes syntetické látky, keramiku, dřevo a papír. Na úplně opačné straně je vidět lokální slaměné balíky, celulózu a OSB desky. Slaměné balíky nejen že mají zápornou uhlíkovou stopu, ale i přispívají k redukci CO₂ vypouštěného do atmosféry. A tak se přispívá ke zlepšení bilance produkce CO₂ za celé odvětví stavebního průmyslu. Na získání má sláma podstatně nižší uhlíkovou a energetickou stopu náročnosti, než jiné stavební materiály.

Návrat k přírodnímu materiálu (jako je například sláma), může být také jedno z řešení, jak efektivně využít poptávku po výstavbě nových domů. Pouze však maximálně do výšky druhého nadzemního podlaží, jelikož slaměné stavby nedosahují takové únosnosti jako konvenční materiály. Je to alternativní cesta, která může doplnit širokou a pestrou škálu možností volby materiálů v našem eko systému výstavby stavebních objektů. Často tak objektivní pravdou zůstává fakt, že není nedostatek materiálů, ale spíše neochota přistupovat ke svému okolí v rovnováze a využívat efektivně v harmonii všechny zdroje i při výstavbě domů.

Není to o tom být jen zelení, ekologičtí, ale i o užití všech materiálů pro stavební produkci rovnovážně, chytře a efektivně. Protože v důsledku nejvíce ničí naše životní prostředí jednostranné přetěžování zdrojů a nenahlížení i na nové optimalizovanější postupy a zdroje. Takové, které pomohou zaplnit prostory subodvětví, kde je to možné a vhodné.

2.1.1 Sláma

Pro stavební účely jsou tři základní typy využití slámy:

- Slaměné balíky
- Prefabrikované panely z lisované slámy
- Dodatečná izolace

Balíky slámy využívané pro slaměné panely musí být co nejvíce slisovány. A to tak aby platilo: „*hustota > 90 kg/m³*” [3]

Sláma nabízí radikální způsob, jak vyřešit mnoho problémů, kterým čelí výstavba, pokud jde o tepelnou účinnost, udržitelné materiály, trvanlivost, kvalitu ovzduší a náklady. Je to mnohem víc než jen technika budování zdi; je to úplně jiný přístup k samotnému procesu výstavby.

Sláma je odpadním materiálem zemědělského průmyslu. Bylo by možné ji efektivně využít jako izolaci, hlavní stavební materiál i jako prvek pro obvodové zdi, a to za přítomnosti metodiky a technologie BIM.

Jako sláma se označují suché stonky vymláceného obilí (pšenice, žito, ječmen, oves, prosa) nebo pradávných rostlin (lnu, konopí, rýže), přesněji část mezi kořenovým balem a klasem. Sláma je obnovitelnou surovinou, která vzniká fotosyntézou - působení sloučení energie z vody, oxidu uhličitého a půdních minerálů. Skládá se z celulózy, ligninu, oxidu křemičitého a vyznačuje se voskovitou vnější vrstvou, která odpuzuje vodu. K výrobě slámových balíků pro stavbu domu se hodí zejména sláma z pšenice. Sláma podléhá hnití extrémně pomalu díky vysokému obsahu křemičitých látek. Proto se v ekologickém zemědělství s oblibou používá jako zaorávka ke zkyplení půdy. Pouze ojediněle se používá jako palivo, nebo jako surovina k výrobě panelů ze slámy. Sláma v panelech jako plnivo musí být stlačena na mezní stav únosnosti, aby nedocházelo k dodatečnému nežádoucímu sedání. [4]

Nejde o nahrazení slámou ty stavby, které se bez železobetonu neobejdou. Jde o nahrazení těch staveb, kde nemusí být konvenční materiál využitý. Cílem je tak usilovat o efektivnější využití zdrojů životního prostředí a zdrojů planety. Avšak při současných pořizovacích cenách rodinných domů může být levnější a ekologičtější materiál vhodnou alternativou, která naopak přispěje k produkci výstavby rodinných domů a pomůže udržet kvantitu progresu výstavby i pro tradiční dodavatele. Ať už formou interiérových příček, formou subdodávek pro část HSV, PSV či M.

Obecně může myšlenka slaměných domů budit pochybnost o vhodnosti pro bydlení. V USA se vícekrát sledovala otázka, zdali v historických slaměných domech nehnízdí hmyz, myši či dokonce krysy. Nic takového se ale nepotvrdilo, ani v případě testovaného domu, který byl po čtyřech letech opět zbořen a jehož každý jednotlivý balík slámy byl podroben zkoumání, se nezjistilo žádné napadení škůdci. [4]

„Stavět vnitřní stěny z balíků slámy není příliš účelné. Ve srovnání s konvenčními vnitřními stěnami vyžadují široký základ a zvětšují tak zastavěný objem budovy. Protože slaměné domy vykazují relativně nízkou schopnost tepelné akumulace, doporučuje se stavět vnitřní zdi z masivních cihel, eventuálně také z přírodních kamenů.“ [3]

V eko domu ze slámy a dřeva je přírodní čisté mikroklima, kde je přirozeně regulována vlhkost i čistota ovzduší interiéru. Díky lepším izolačním vlastnostem takového slaměného panelu jsou i nižší nároky na vytápění v zimě a lepší ventilace v létě. Z hlediska materiálových požadavků je hlavní výhodou zvláště dobrá tepelně-izolační vlastnost slámy. To závisí na hustotě slámy, respektive balíků slámy, na poloze slámových stébel a na vlhkosti slámy. Za předpokladu dodržení stanovených konstrukčních tloušťek zdiva vzniká situace, kdy není nutná ani potřebná dodatečná izolace zdiva. [3]

Vlhkost je hlavním nepřítelem degradace slámy z pohledu vhodnosti pro využití jako stavebního materiálu. Studie dokazují, že i po sto a více letech rozebrané stavby s použitím slaměných balíků, jako plnivo ve zdech, mají minimální degradaci slámy za předpokladu, že stavby byly provětrávány v prostoru hranice horní a spodní stavby. O způsobech pro podvětrávání slaměné horní stavby se více dozvíte v kapitole 2.1.5 Základy a větrání.

„V prostorách, v nichž se vlhkost vzduchu pohybuje ve výši více než 70 %, kupříkladu v koupelnách, se doporučuje, aby se zvýšil difuzní odpor interiérové omítky pomocí patřičných příměsí, jako je lněno-olejná fermež, nebo aby se provedl nátěr brzdící difuzi vodní páry, čehož lze dosáhnout například fermeží.“ [3]

Balíky čerstvé slámy ze stejné sklizně mívají často odlišnou vlhkost, protože ráno bývá sláma zpravidla vlhčí než v pozdních odpoledních hodinách. Aby se mohla uplatnit jako stavební materiál, musí se obsah její vlhkosti pohybovat pod 15%. Kromě toho může při sklizni trochu kolísat hustota a kvádrovitá forma balíků slámy (za předpokladu že výstavba probíhá z balíků slámy): čím větší je rychlost sklizně, tím nepřesnější je tvarování rohů balíků. [3]

Starší balíky slámy nesmějí vykazovat žádné známky hnití nebo tvorby plísní. Balíky slámy je nutno skladovat v suchu, to znamená, že nesmí ležet přímo na vlhké zemi a že je třeba je chránit

před deštěm. Vlhké balíky nelze skladovat těsně vedle sebe, protože pak příliš dlouho vysychají a vzniká nebezpečí, že mikroorganismy zahájí hnilobný proces.

2.1.2 Dřevěná kazeta

Dřevěná kazeta tvoří hrany a nosné vnitřní prvky stavebního dílce zvaného Eko panel. Pro účely tvorby dřevěné kazety, která slouží jako rámec pro slaměné plnivo, se nejvíce hodí materiál s minimální hustotou $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$. Sláma ve spolupůsobení s dřevěným rámem stává nosným prvkem, který plně přejímá veškeré zatížení. Veškeré prvky a jejich rozměry budou následně do detailu rozepsány v kapitole 5.



Obr. 2 Model kazety s plnivem [vlastní]

Na obrázku modelu panelu lze vidět názorné rozmístění podpurných subprvků panelu, slaměné plnivo a pletivo, které se umísťuje před aplikací omítky. Možné použít jakékoliv dřevo splňující požadavek na hustotu.

Doporučuje se vzít v potaz i vzácnost dřeviny a její cenu či lokalitu výstavby. V tom je výhoda možnosti využití lokálních surovin, kdy hustota dřeva je jediný sledovaný atribut.

Dřevěná kazeta vyplněná slisovanou slámou tvoří základ pro Eko panel před aplikací finálního povrchu, tudíž zaujímá většinový podíl hmotnosti, který činí cca 225 kg na 1 m³. Naproti tomu 1 m³ betonu váží cca 2250 kg. Protože slaměné panely obsahují malé množství hmoty, vykazují i nízkou schopnost tepelné akumulace. Je kladen důraz na konstrukční minimální tloušťku zdiva 350 mm. Proto je pro vnitřní strany panelů a vnitřní stěny z panelů kladen větší důraz na kvalitu úpravy povrchu. Doporučuje se vzhledem k lepší akumulaci vlastnosti používat i cihelné zdivo pro příčky v interiéru. [3]

Pro zachování exaktního významu definice je uvedena přímá citace:

„Teplo, které je zapotřebí k tomu, aby se ohřál 1 kg nějakého stavebního materiálu o 1 stupeň celsia, se označuje jako specifické teplo c. Schopnost tepelné akumulace stavební hmoty je určena součinitelem tepelné akumulace S, který je úměrný specifickému teplu c a objemové hustotě ρ:“ [3]

Vzorec:

$$S = c * \rho \text{ (kJ/m}^3\text{) nebo (Wh/m}^3\text{K) [3]}$$

2.1.3 Omítka

Omítka, která se aplikuje přímo na povrch slámy, případně povrch slámy překrytý ocelovou sítí. Omítky hliněné, sádrové, vápené, cementové a vápenocementové omítky. [3]

- Interiér – hliněná omítka

Hliněná omítka v kombinaci s jádrem zdiva v podobě slámy slisované do dřevěné kazety vytváří přirozeně vyvážené prostředí optimální vlhkosti v interiéru. To znamená, že v praxi v interiéru není ani sucho ani příliš vlhko. A to v prostředí, kde trávíme většinu času. Příznivě zde působí hliněné omítky s vysokým podílem písku a jemného šterku. Hliněná omítka při vysoké vlhkosti

vzduchu v interiéru absorbuje více vlhkosti než jiné omítky, a tedy přiměřeně tomu při nízké vlhkosti vzduchu v interiéru tuto vlhkost opět odevzdává okolnímu vzduchu. [3]

„Pro vnitřní omítky do koupelen a pro vnější hliněné omítky, které mají být vodoodpudivé a současně si zachovat svou přirozenou hlinitou barvu, se nabízí hydrofobizace povrchových ploch. Kdy vodoodpudivost povrchové hydrofobizace přitom vzniká tím, že úhel smáčení vodní kapky proti impregnovanému povrchu materiálu je větší než 90 stupňů.“ [3]

- Exteriér – vápennocementová omítka

Venkovní stěny musejí být chráněny proti vlhkosti, případně mokru ze všech stran. To se děje pomocí různých opatření. Vnější omítky musejí na jedné straně zabránit pronikání vlhkosti z okolí do slámových balíků a na druhé straně by měly umožňovat difuzní proces do té míry, aby vzdušná vlhkost za určitých podmínek kondenzující ve slámové stěně, tzv. kondenzační voda, mohla snadno difundovat směrem ven. Proto difuzní odpor u vnější omítky včetně nátěru měl vykazovat nižší hodnoty než tento odpor u vnitřní omítky s nátěrem. [3]

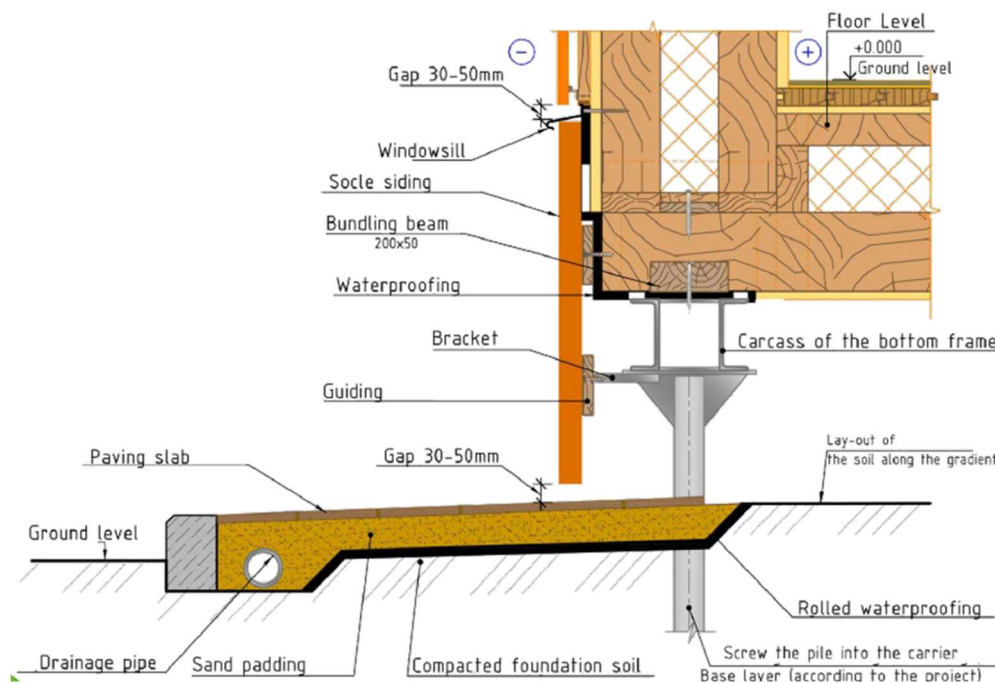
„Cementová omítka je mnohem méně elastická než omítka hliněná, při tepelném a mechanickém namáhání v ní vznikají snadno trhliny.“ [3]

„Hliněná omítka je jako vnější omítka vhodná pouze tehdy, jestliže je chráněna před deštěm nebo jestliže je patřičným způsobem vodotěsně zpracována prostřednictvím příměsí, případně nátěrů.“ [3]

2.1.4 Základy a větrání

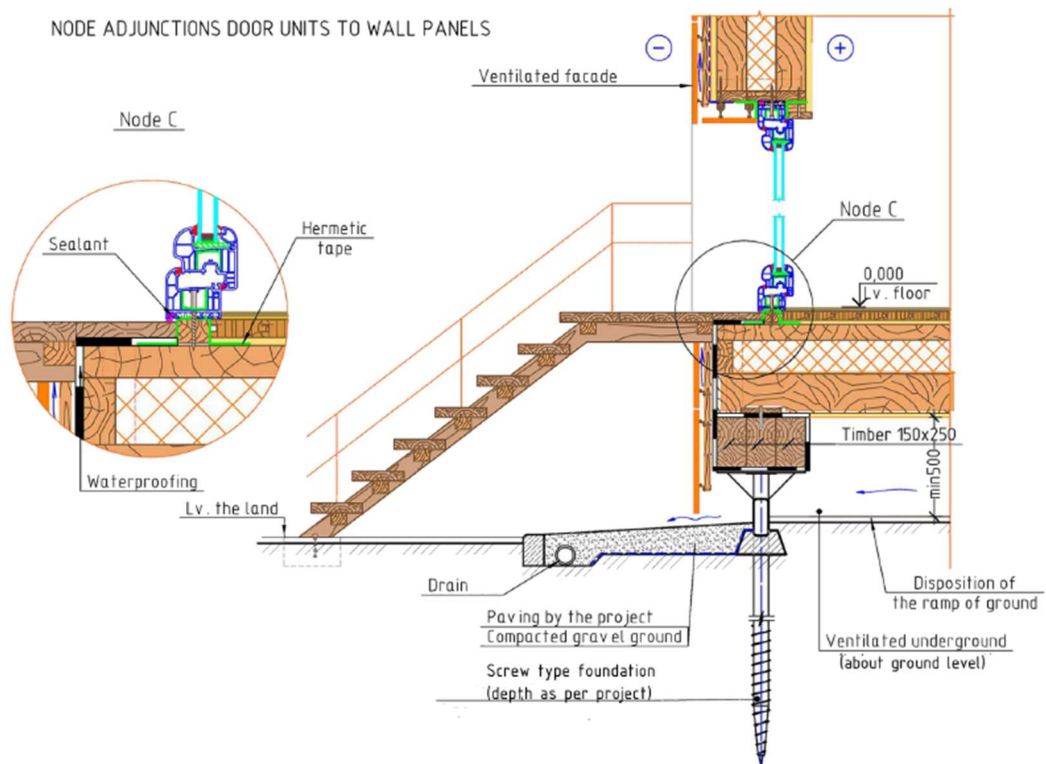
Oddělení od možnosti vztlínání vůči zemi vlhkosti je obzvlášť pro slaměné domy zásadní. Je krajně nežádoucí, aby se dostala vlhkost do slámy v panelech. Ať už se jedná o horizontální či svislé panely. Všechny níže zmíněné typy představují jednu z mnoha variant vhodnosti a nutnosti řešení provětrávání na hranici horní a spodní stavby.

Node of supporting wall panels on a pile foundation -
Version of the lower strapping of metal structures



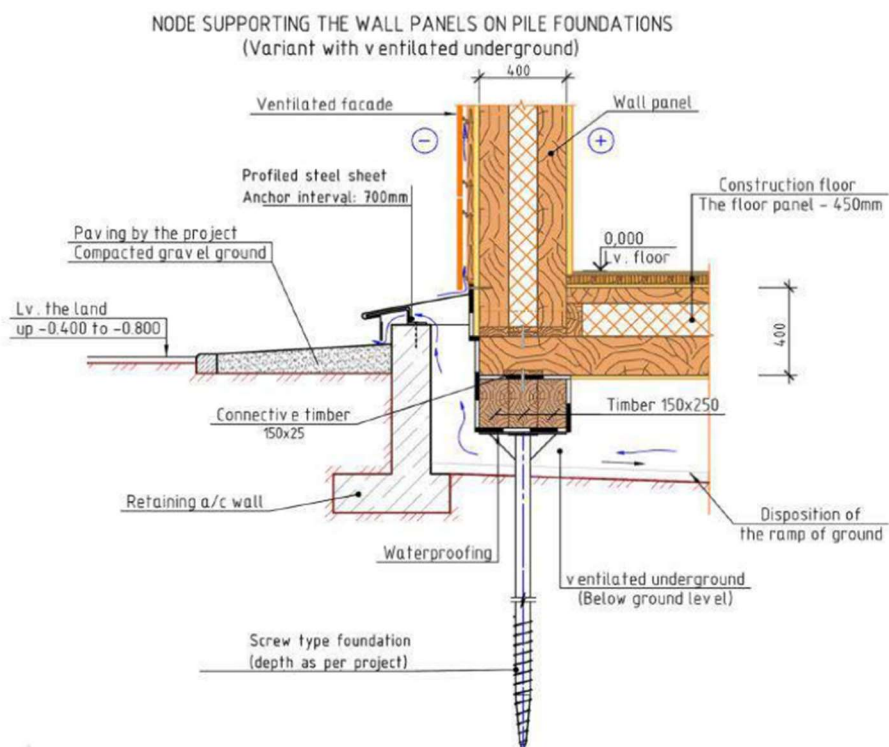
Obr. 3 Základy a větrání 1 [vlastní]

Varianta prezentuje postavení domu na ocelových pilířích. Jsou z vnější strany pohledově kryté nejen pro estetické účely, ale taky hlavně pro účely krytí spodní hrany horní stavby od hranice slaměných svislých a horizontálních prvků, které dosedají do zubu horizontálního prvku podlahy.



Obr. 4 Základy a větrání 2 [vlastní]

Varianta prezentuje postavení domu na ocelových vrtaných pilířcích stojících na dřevěných trámech, které tvoří nosnou styčnou plochu pro horizontální prvky domu. Trámy jsou z vnější strany pohledově kryté nejen pro estetické účely, ale také hlavně pro účely krytí spodní hrany horní stavby od hranice slaměných svislých a horizontálních prvků. Varianta nabízí řešení ponechané mezery na samotné hranici úrovní terénu. Mezera slouží pro přirozené větrání čistě v horizontálním směru.

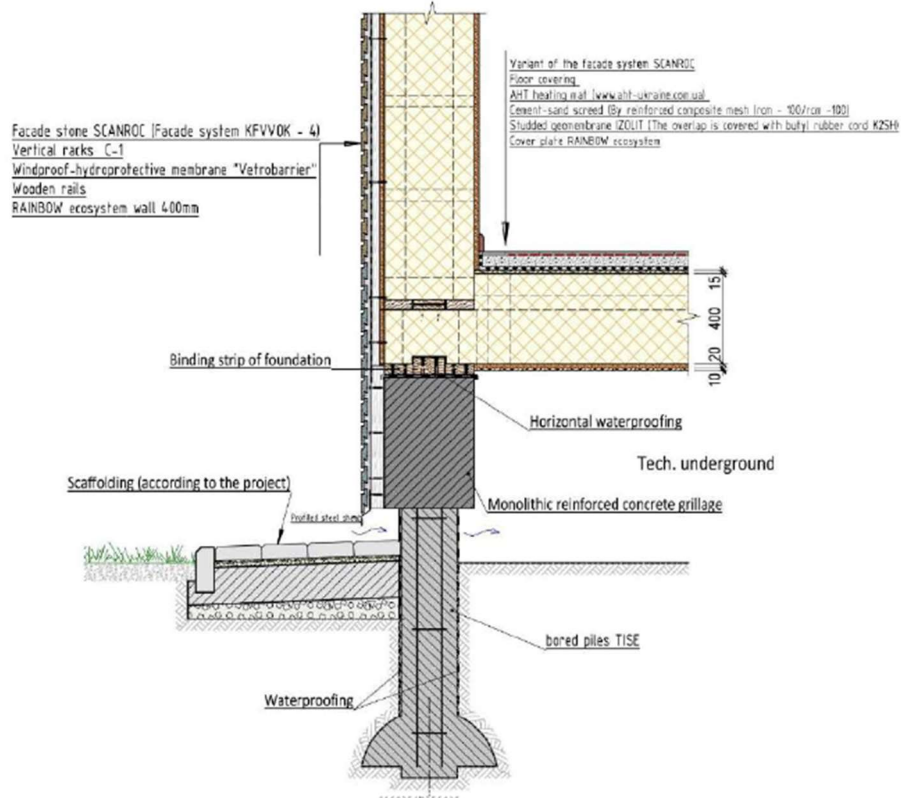


Obr. 5 Základy a větrání 3 [vlastní]

Na obrázku je prezentováno řešení založení domu na ocelových pilířcích. Celá konstrukce je zapuštěná na úroveň terénu, ve smyslu spodní hranice horizontálních podlahových panelů. Výše zmíněná možnost je vhodným řešením pro majitele, kteří si přejí skryt před zraky větrací mezeru. Větrací mezeru se nachází pod úrovní terénu.

Node of support of panels on the foundation of TISE

- variant with a ventilated underground
- option for the facade system SCANROC



Obr. 6 Základy a větrání 4 [vlastní]

Varianta prezentuje postavení domu na betonových pilířích, které představují variantu základů s nejvyšší únosností. Zároveň se jedná o typ základu s nejvyšší světlou výškou prvního slaměného prvku od úrovně terénu. V důsledku chodníčku v blízkosti slaměné zdi může dojít o odprýskání kapek vody při dešti směrem k fasádě. Proto je fasáda kryta fasádním systémem. Princip provětrávání zde spočívá v železovém betonu z vlastnostmi provětrávací mřížky.

3 Historie a praxe využití slámy ve výstavbě

Analýza průzkumu historie slaměných budov prokázala globální rozšířenost výskytu slaměných domů. Výhodou je lokální surovina pro materiál na dřevěné kazety, slámu i hlínu. Vytváří obnovené nové pojetí a specifika přístupu. Převážně byly v minulosti vystavěny stavby za pomoci dřevěné konstrukce, do které se dodatečně doplňovala sláma v podobě balíků. Zpravidla takové stavby bývají levnější z pohledu ceny pořízení. Druhou alternativou je výstavba ze slaměných panelů. Tyto panely obecně tvoří dřevěná kazeta různé konstrukce, do které je postupně během sestavení lisována sláma formou slaměných balíků. Tato technologie se liší v podobě finální úpravy, kvality únosnosti, ale i spojů a hodnoty tepelných mostů. Avšak v této práci se soustředíme na metodiku prefabrikace, a to u konkrétní firmy maTerra, která má zavedený model technologie výroby přejaté a dále rozvinuté dle firmy, kterou akvírovala.

Další vývoj slaměné architektury se vyvíjel, zatím v malé míře, ale podobným směrem v různých zemích světa. A to formou plniva jako samonosné zdivo, nebo jako dodatečná izolace stávajících či nových staveb vystavěných z konvenčních materiálů. Vhodnou formou využití slaměných panelů, či slaměného zdiva je jako příčky v interiéru, vestavby či rozšíření obytného prostoru u staveb stávajících.

V průběhu historie se také zajímavě měnily důvody použití slámy. Motivace byla z pohledu nedostatku konvenčního materiálu, z touhy po ekologičtějším bydlení či hledání alternativ nižší ceny. Stávající a hlavní motivaci hodnotím jako odpověď na obecný kladný přístup ekologičtějšího charakteru a o snahu snížení devastujícího dopadu na naše životní prostředí.

Architektům a projektantům zůstává úkol hledat takové cesty a stavební řešení, které umožní co nejjednodušší použití balíků – teprve při nízké pracnosti jejich zabudování se stanou pro klienty přitažlivější. [5]

3.1 Slaměné domy ve světě

Slaměné domy se v minulosti vyskytovaly a stále vyskytují v mnoha zemích světa. Vyskytují se v Číně, USA ale i Mexiku či Africe. Zde je pozornost zaměřena na země Evropské Unie, a to především třech zemí západní Evropy.

Slaměné domy v zahraničí - EU	Země	Základy	Dokoneční	Využití slámy	NP	m2	Gbp/m2	Eur/m2	Lokace
New Building	Německo	provětrávané	2017	sláma balíky	2	200	-	1 115	Treben OT Lehma
Warmuth	Německo	neprovětrávané	2000	sláma balíky	2	400	-	-	Ramsthal
Passive House Lenggries	Německo	neprovětrávané	2009	izolace	2	211	-	-	Lenggries
Family Home, District Paderborn	Německo	provětrávané	2021	sláma balíky	2	151	-	-	Kreis Paderborn
Two-Family Home	Německo	provětrávané	2020	prefa panely	2	224	-	-	Leverkusen
Dům s předizolovanými štíty	Francie	neprovětrávané	Novostavba	prefa panely	2	150	-	-	Thénac
Galletův dům	Francie	neprovětrávané	2013	sláma balíky	1	165	-	1 000	Échalas
Falcandův dům	Francie	pasy, deska	Novostavba	sláma balíky	2	130	-	1 800	Limoges
Beruges, Slaměný dům	Francie	pasy	2010	sláma balíky	1	80	-	-	Beruges
Rouyer dům	Francie	neprovětrávané	2014	sláma balíky	1	113	-	810	Banne
Suffolk, Passive House	Anglie	pasy, deska	2015	prefa panely	2	148	-	-	Suffolk
Outback Centre Community	Anglie	provětrávané	2010	sláma balíky	1	52	-	-	Halifax
Agbrigg a Belleuve	Anglie	pasy	2006	sláma balíky	1	-	-	-	Sandy Lane, W
Woore Fruit Farm House and Shop	Anglie	pasy	-	sláma balíky	2	370	-	-	Cheshire
North Kesteven Council House	Anglie	stávající	2009	sláma balíky	2	85	1 212	-	Waddington

Obr. 7 Slaměné domy ve světě [vlastní]

V tabulce je uvedeno několik zvolených parametrů, jako jsou:

- Země
- Základy
- Dokončení
- Využití slámy
- NP
- Cena
- Lokace

U staveb, kde bylo využito provětrávaných základů se dá očekávat až 1,5 krát delší životnost stavby po stránce prevence vůči degradaci slaměných panelů. Pouze čtyři stavby byly dokončeny ve 21. století a to do roku 2010. Zbytek staveb se realizovalo po roce 2010. V tabulce je také možnost spatřit většinový podíl výskytu staveb pro výstavby technologií slaměných balíků svépomocí. To znamená realizováno přímo na staveništi.

Pouze pět staveb bylo realizováno do výšky prvního nadzemního podlaží. Většina staveb v praxi spadá do kategorie budov o dvou nadzemních podlažích. Průměrná zastavěná plocha činí 177 m². Průměrná cena zdiva za 1 m² je 1181 eur na 1 m².

3.2 Slaměné domy v ČR

Kapitola se zaměřuje na praktický průzkum trhu pro účely zmapování a vytvoření přehledu stávajících staveb.

Slaměné domy	Typ konstrukce	Základy	Druh stavby	Využití slámy	NP	m ²	mil Kč	Kč/m ²	Lokace
Bungalov se sedlovou střechou	dřevostavba	neprovětrávané	novostavba	izolace	1	107	-	-	Jivina
Kompaktní slamák v Poličce	dřevostavba	neprovětrávané	novostavba	plnivo	2	146	-	-	Polička
Malý velký slamák v Jelení	dřevostavba	neprovětrávané	novostavba	izolace	2	95	-	-	Horní Jelení
Pasivní rodinný dům	dřevěná kce.	neprovětrávané	novostavba	plnivo	2	-	-	-	Habrovany
Pasivní rodinný dům - Krat.	dřevěná kce.	provětrávané	novostavba	plnivo	2	-	-	-	Velký Vřešťov
Pasivní slaměný dům	dřevostavba	neprovětrávané	novostavba	plnivo	2	-	-	-	Ochoz u Brna
Bungalov s pultovou střechou	dřevo rám	provětrávané	novostavba	izolace, střecha	1	98	-	-	Kunčina Ves
Slaměný dům	dřevěná kce.	pasy, deska	novostavba	plnivo	2	150	2,5	16 667	Hostišová
Slaměný dům v Bílsku na Hané	fošínkový skelet	pasy	novostavba	plnivo	1	139	4,2	30 216	Bílsko na Hané
Moderní slamák ve Straníku	dřevostavba	pasy	novostavba	plnivo	1	113	4	35 398	Straník
Řadový pasivní slamák u Prahy	dřevostavba	stávající	rekonstrukce	plnivo	2	147	5,1	34 694	Praha - Satalice
Malý domek s velkou terasou	panely	pasy	novostavba	plnivo	2	84	3	35 714	Vítovice
Slaměný dům se zimní zahradou	dřevěná kce.	deska	novostavba	plnivo	2	138	4,8	34 783	Hájov u Příbora
Slaměný dům s ateliérem	dřevěná kce.	deska	novostavba	plnivo	2	174	6,1	35 057	Návší u Jablun.
Vestavba do stodoly	stávající	stávající	vestavba	plnivo, izolace	2	108	-	-	Horní Ředice

Obr. 8 Slaměné domy v ČR [vlastní]

Přehledová tabulka získaných informací je důkazem, že sláma je vhodná pro využití jako stavební materiál, jako plnivo do prefabrikovaných dřevěných kazet pro modulární výstavbu, tak i pro izolaci dřevěné stavby či pro vestavbu. Způsobů využití je skutečně mnoho.

„Tuzemské zemědělství produkuje v dlouhodobém horizontu ročně cca 6 mil. tun slámy. Z tohoto množství lze pro nezemědělské využití uvažovat max. 30 %. Pro potřeby zemědělců, kam patří krmiva, steliva nebo zaorávání slámy na polích, cca 40 %. Zbývající podíl tvoří nadprodukcí, kterou lze rozdělit mezi energetický sektor (kotle na biomasu) a stavebnictví. Ačkoliv bude spalování zemědělských odpadů stále nabývat na významu, pořád můžeme do budoucna počítat s více než 1 mil. tun slámy, která na jedné straně představuje odpad, na druhé straně skvělý tepelně-izolační i stavební materiál. Z něho může být izolováno ročně cca 75 000 průměrně velkých rodinných domů.“ [5]

Konkurence pro firmu maTerra:

- Bio-dům

Firma jako základní produkt má tzv. slaměný panel, který je o základní tloušťce 400 mm a výšce standardně 3000 mm. Hustotu slámy prezentují jako 100 kg/m³. Hmotnost jednoho panelu činí cca 200 kg. Pro oboustrané omítnutí dosahuje panel požární odolnosti 90 minut.

Z pohledu tepelné izolace je pozice stebel všesměrná, což umožňuje snažší výrobu. Prezentováno je, že stěna o tloušťce 400 mm izoluje jako 200 mm polystyrenu.

Pro kazetu panelu jsou použité nosníky jako dřevěné hranoly, kdy podstavní a horní hranu tvoří překližka. Montáž proběhla pomocí pozinkovaných vrtů.

Na rozdíl od firmy maTerry je technologie podstatně méně rozpracovaná. Panely jsou nižší kvality.

Za návrh si firma účtuje 8000 Kč bez DPH a za 1 m² panelu si firma účtuje 2590 Kč bez DPH. Což vzhledem k nižší kvalitě a preciznosti výroby se může zdát jako nepřiměřená cena.

- Ekopanely

Firma Ekopanely má poněkud odlišný přístup. Na místo dřevěné kazety plněné slámou představuje Ekopanel jako ekologickou difúzně otevřenou stavební desku. Z technologického hlediska se jedná o materiál obilné slámy bez použití pojiv, polepená recyklovanou lepenkou.

V tomto případě se jedná o panely, které slouží jako obložení, izolace či doplňkový materiál z pohledu synergie se stavbou dřevěné konstrukce pro dodržení standardu nízkoenergetického domu. Je atraktivní hlavně vzhledem k nižším nákladům na energie.

- Baobaby

Firma se ze začátku zaměřovala na výstavbu ekodomů stavěné především z balíků slámy. To znamená, že do dřevěné konstrukce se přímo na staveništi zabudovaly slaměné balíky, na které se aplikovala hliněná omítka. Až v druhé polovině letošního roku se pustili do výroby prefabrikovaných slaměných panelů. Aktuálně nabízí 1 m² panelu za 2750 Kč bez DPH.

4 Ekonomické posouzení technologie

Ekonomické posouzení technologie Eko panelů má větší přesah, než se na první pohled může zdát.

Z obecného hlediska se jedná o rovnováhu mezi ekologičností, moderní dobou, blahobytem a pohodlím. Je sestaveno ekonomické posouzení technologie tvorby stavebního elementu, který je kombinací mezi využitím hodnot technologie a redukcí devastujícího vlivu na přírodu. Nejde jen o blaho celku, ale o důsledný efekt a přesah. Nejde jen o jednu konkrétní věc, ale jde o přesah do budoucnosti i do minulosti.

Rozborem informací podkapitol kapitoly je detailní analýza nákladů na základní stavební prvek a tím je Eko Panel 2650.1000.350. A to jak z pohledu kapitoly 4.1.1. nákladů na materiál, tak i z pohledu kapitoly 4.1.2. nákladů na výrobu. Pojednáno je o ceně za surový materiál, spotřební prvky, ale i energie a práci. Ačkoliv může 1 m² slaměného zdiva vycházet podobně cenou jako 1 m² standardního cihelného zdiva, sláma bývá levnější a je brán v potaz fakt absence dodatečné izolace, která je u cihelného zdiva vždy nezbytná. Sláma má lepší tepelně-izolační vlastnosti. Výhodou také může být výrazně nižší doba výstavby.

„Otázka, zda je slaměný dům levnější než dům „normální“, se dá sotva zodpovědět tak, aby odpověď byla všeobecně platná. S čím se má slaměný dům srovnávat a která stěnová konstrukce slouží jako referenční? Navrhuje se, aby se při srovnávání nejprve vycházelo z referenční stěnové konstrukce o stejné hodnotě tepelné izolace. Stejných hodnot je u konvenční konstrukce stěny možné dosáhnout pouze přidavným kombinovaným systémem tepelné izolace. Z tohoto srovnání vychází nosná stěna z balíků slámy každopádně levněji.“ [3]

Nejde jen o cenu pořízení jednorázově, ale i o hodnotu v životním cyklu. Jedna věc může být dražší a pak 10 let prakticky bez údržby anebo může být jedna věc levná a poté vyžadovat nákladnou údržbu.

4.1 Analýza pro Eko Panelu 2650.1000.350

Jak plyne z tabulek níže, cena 1 m² betonové zdi či příčky nebo cihelného zdiva či příčky může být srovnatelná či mít nižší cenu než 1 m² slaměného panelu. Slaměný panel má ale zásadně rozdílný dopad na produkci emisí a produkci odpadních materiálů.

Analýza pro Eko Panel 2650.1000.350 odpovídá na otázku rozboru ceny, která v důsledku tvoří ekonomickou hodnotu Eko Panelu stanovenou hodnotou v Kč bez DPH.

4.1.1 Náklady na materiál

Cenu ovlivňuje lokalita slámy, a to, zda je použita lokální surovina či surovina z dovozu. Dovoz a cenu může snížit výstavba z balíků, avšak ztrácí na profesionalitě a výhody použití BIM techniky pro prefabrikaci. Při návrhů rozměrů byl dodržen předpoklad pro tloušťku, kdy nemusí být použita dodatečná izolace stěny.

- 100% přírodní a lokální materiál
- Prefabrikováno
- Nízká objemová hmotnost vysoká únosnost
- Omítnuto
- Výhoda slaměných panelů a prefabrikace

Náklady na materiál jsou rozděleny do dvou částí:

- Náklady na prvky dřevěné kazety

PANEL 2650.1000.350							PRŮMYSLOVÉ NÁKLADY PRODUKCE		CENA CELKEM		2 805 CZK		107 €	
									CENA NA 1 m ²		1 039 CZK		39,5 €	
CENA SUROVÉHO MATERIÁLU														
č.	Prvky panelu	Obrázek	Subprvky	Rozměry (mm)	Objem (m3)	Množství	Celkový objem (m3)	Hustota dřeva typu (kg/m3)*	Hmotnost (kg)	Cena CZK / m3	Celková cena CZK	Celková cena EUR		
1	Pravá a levá stěna panelu		1	Příčka	2600 x 100 x 50	0,0130	4	0,052	515	27	4232	220,05 CZK	8,36 €	
			2	Malý sloupek	320 x 50 x 20	0,0003	2	0,0006	515	0,3	4232	2,71 CZK	0,10 €	
			3	Velký sloupek	350 x 100 x 50	0,0018	2	0,004	515	2	4232	14,81 CZK	0,56 €	
			4	Příčka	900 x 100 x 50	0,0045	2	0,009	515	5	4232	38,09 CZK	1,45 €	
	Spodní koncová rozpěra (S1)		5	Velký sloupek	350 x 100 x 50	0,0018	1	0,002	515	1	4232	7,41 CZK	0,28 €	
			6	Malý sloupek	330 x 50 x 20	0,0003	2	0,0007	515	0,3	4232	2,79 CZK	0,11 €	
	Horní koncová rozpěra (S2)		7	Příčka	1000 x 100 x 50	0,0050	2	0,010	515	5	4232	42,32 CZK	1,61 €	
			8	Velký sloupek	350 x 100 x 50	0,0018	1	0,002	515	1	4232	7,41 CZK	0,28 €	
			9	Malý sloupek	340 x 60 x 20	0,0041	2	0,008	515	4	4232	34,53 CZK	1,31 €	
	Střední rozpěra (S3)		10	Příčka	900 x 100 x 50	0,0045	4	0,018	515	9	4232	76,17 CZK	2,89 €	
			11	Velký sloupek	350 x 100 x 50	0,0018	8	0,014	515	7	4232	59,24 CZK	2,25 €	
			12	Malý sloupek	340 x 60 x 20	0,0004	8	0,003	515	2	4232	13,81 CZK	0,52 €	
	Vzpěra (P6)		13	Vzpěra	598 x 50 x 50 (524)	0,0013	4	0,005	515	2,73	4232	22,43 CZK	0,85 €	
	Horní nosník		14	Horní nosník	1000 x 150 x 75	0,0113	1	0,01125	515	6	4232	47,61 CZK	1,81 €	
	Spodní nosník		15	Spodní nosník	1000 x 150 x 95	0,0143	1	0,01425	515	7	4232	60,30 CZK	2,29 €	
Celkový objem dřeva (m3)							0,154	Celková hmotnost dřeva (kg)	79,1	Celková cena dřeva	649,67 CZK	24,67 €		

Obr. 9 Panel – náklady na materiál [vlastní]

1 m3 dřeva o objemové hmotnosti 515 kg/m3 stojí 4232 Kč bez DPH. Největší podíl celkové ceny tvoří 4k subprvku příčky pro pravou a levou stěnu panelu, a to konkrétně 220 czk bez DPH. Při celkové hmotnosti všech dřevěných prvků 79,1 kg vychází celková cena dřeva na 650 Kč bez DPH.

- Náklady na slámu a ostatní surový materiál

2	Balk slámy		16	Sláma	1000 x 500 x 400	0,20	9	1,80	85	153	21	188,10 CZK	7,14 €
Celkový objem slámy (m3)							1,80	Celková hmotnost slámy (kg)	153,0	Celková cena slámy	188,10 CZK	7,14 €	
				Proporce (m3/m2)	Povrch, který bude ošetřen (m ²)	Objem (m3)	Hustota (kg/m3)	Plošná hustota (kg/m ²)	Hmotnost (kg)	Cena CZK / m3	Celková cena CZK	Celková cena EUR	
3	Omítka		17	Sláma	0,0061	5,4	0,033	85	1	3	21	0,68 CZK	0,03 €
			18	Hlína	0,0067	5,4	0,036	1700	11	61	438	15,73 CZK	0,60 €
			19	Písek	0,0200	5,4	0,108	1600	32	173	333	35,89 CZK	1,36 €
			20	Voda	0,0034	5,4	0,018	1000	3	18	10	0,18 CZK	0,01 €
Celkový objem omítky (m3)							0,19	Celková hmotnost omítky (kg)	255	Celková cena omítky	52,49 CZK	1,99 €	
4	Finální povrch		21	Vápno		5,4	0,0007	3000	0,4	2	3,7	8,08 CZK	0,31 €
Celkový objem fin. povrchu (m3)							0,0007	Celková hmotnost fin. povrchu (kg)	2	Celková cena fin. Povrchu	8,08 CZK	0,31 €	

Obr. 10 Panel – náklady na materiál – ostatní [vlastní]

Rozměr balíku slámy je 1000 x 500 x 400 mm. Celkový objem slám je 1,8 m³. Celková hmotnost slámy je 153 kg. Při objemu slámy na Eko Panel 2650.1000.350 1,8 m³ a jednotkové ceně 21 Kč bez DPH činí celková cena slámy **188,10 Kč** bez DPH.

Omítka, která je tvořena podílem slámy, hlíny, písku a vody má celkový objem 0,19 m³ při celkové hmotnosti 255 kg na obě strany panelu. Při trhových jednotkových cenách a znalosti hodnoty objemu vychází celková cena omítky na **52,49 Kč** bez DPH.

Finální povrch, jenž tvoří vápno o objemu 0,0007 m³ tvoří cenu 8,08 czk bez DPH.

181,1	kg/m ²	Celkový objem surových materiálů (m ³)	2,15	Celková hmotnost surových materiálů (kg)	489	Celková cena surových materiálů bez DPH	898,33 CZK	34,12 €
-------	-------------------	--	------	--	-----	---	------------	---------

Obr. 11 Panel – náklady na materiál – surové [vlastní]

Nikoliv pro zákazníka, ale pouze pro výrobce je velice důležité umět stanovit cenu za materiál. Tvoří to jednu z několika složek hodnot nákladů na výrobu. Ve své podstatě se jedná o fixní náklady. Fixní z pohledu stanovené technologie. Ušetřit by se dalo na volbě dodavatele materiálu, či získání lokálních surovin za lepší cenu.

Při 181,1 kg/m² eko panelu o celkovém objemu surových materiálů 2,15 m³ a celkové hmotnosti 489 kg, byla stanovena celková cena materiálu na **898,33 Kč** bez DPH.

4.1.2 Náklady na výrobu

Vyjádření nákladů na výrobu jednoho panelu. Eko panel 2650.1000.350 je detailně rozebrán ve smyslu ekonomického posouzení v kapitole 4. V kapitole 5 je více rozebrán, pro účel zavedení plně parametrizované a flexibilní rodiny pro možnost účelu potenciální výroby, výstavby, prodeje a facility managementu. Hlavním cílem je, aby panel splňoval požadavek na parametrickou flexibilitu. Lépe řečeno tak, aby ten, kdo v této práci může potenciálně pokračovat, si vzal rodinu pro panel 2650.1000.350 a změnou hodnot parametrů či doplněním některých dalších parametrů a referenčních rovin mohl bez větší časové náročnosti dotvořit zbylé typy. Je však důležité vědět, jak materiál vznikl a jak byl použit, jak se dá použít potom a jakou má hodnotu v čase.

Náklady na výrobu tvoří tři základní části:

- Cena spotřebních prvků

CENA SPOTŘEBNÍCH PRVKŮ										
č.	Prvek	Subprvek	Rozměry (mm)	Popis	Množství	Jednotky	Jednotková cena CZK	Celková cena CZK	Celková cena EUR	
22	Ostatní 1	Pletivo	4 U of 2700 x 130 + 4 U of 1000 x 130 mm	Sešité vpředu na obvodu, pro zpevnění omítky a ochrana před škůdci	1,9	m ²	9,94	18,87 CZK	0,72 €	
23	Ostatní 2	Plist	pro šířku 400 mm	Slouží pro spojení styku panelů, izolace proti tepelným mostům	1,1	m ²	17,67	19,08 CZK	0,72 €	
24	Nářadí	Vrutky	4 * 40	Pro malý sloupek bočnice	56	ks	0,77	43,12 CZK	1,64 €	
25	Nářadí	Vrutky	5 * 80	Pro složení dřevěné kazety a ostatní prvky	132	ks	2,07	273,24 CZK	10,38 €	
26	Nářadí	Manipulační oko	120 * 10	2 na horní straně pro manipulaci	2	ks	10,412	20,82 CZK	0,79 €	
27	Nářadí	Svorky	délka 25 mm	slouží pro uchycení pletiva a plsti	119	ks	0,03	3,62 CZK	0,14 €	
								Celková cena spotřeby bez DPH	378,76 CZK	14,38 €

Obr. 12 Panel – náklady na spotřební prvky [vlastní]

Z technologie panelu vyplývá nutnost materiálu na požadavek umístění pletiva a plsti, které spotřebují fixní náklady v hodnotě **37,95 Kč** bez DPH.

Vruty jsou pouze dva typy:

- 4 x 40

Na výrobu jednoho Eko Panelu 2650.100.350 je použito vrutů 4 x 40 celkem 56 kusů, kdy při jednotkové ceně 0,77 za ks tvoří náklady na vruty **43,12 Kč** bez DPH. Jsou použity především na štíhlé, méně namáhané prvky.

- 5 x 80

Na výrobu jednoho Eko Panelu 2650.100.350 je použito vrutů 5 x 80 celkem 132 kusů, kdy při jednotkové ceně 2,07 za ks tvoří náklady na vruty **273,24 Kč** bez DPH. Jsou použity na většinu subprvků a spojení prvků i stěn dřevěné kazety.

Ekonomické posouzení bylo vytvořeno jako stanovení ceny všech elementů panelu. Nebylo cílem posouzení technologie výroby ani posouzení technologie BIM z hlediska financí. Po technické stránce zavedení do prostředí BIM se dále hovoří v kapitole 5.

Celková cena spotřebních materiálů činí **378,76 Kč** bez DPH.

- Cena za spotřebovanou elektřinu

CENA ZA ELEKTRINU									
č.	Energie	Proporce	Jednotky	Množství	Jednotka	Cena	Jednotka	Celková cena (CZK)	Celková cena (EUR)
1	Elektřina			82,9	kwh	3,59	CZK/kwh	297,30 CZK	11,29 €
Celková cena za elektřinu bez DPH								297,30 CZK	11,29 €

Obr. 13 Panel – náklady na elektřinu [vlastní]

Elektrickou energii spotřebovávají při výrobě:

- Lis na slámu
- Ruční nářadí
- Sušící místnost
- Manipulační mechanismy

Celková cena za spotřebovanou elektřinu je **297,30 Kč** bez DPH.

- Cena práce

CENA PRÁCE							
č.	Stanice	Popis	Doba (h)	Počet operací	Cena za hodinu CZK	Cena celková (CZK)	Celková cena (EUR)
1	Sítační slámy, příprava dřevěné kazety	Implementace stlačené slámy do dřevěné kazety	1,00	3	100	300,00 CZK	11,39 €
2	Řezací stanice	Ořezání přesahujících stébel slámy	0,08	1	125	10,42 CZK	0,40 €
3	Příprava před finalním složením panelu	Vzpěry a dodělavky+ přichycení pletiva a manipulace s panelem na montážní pracoviště	0,25	2	100	50,00 CZK	1,90 €
4	Příprava prvního povrchu krytí - omítka	Příprava směsi hlíny, písku a vody	0,33	2	100	66,00 CZK	2,51 €
5	Příprava druhého povrchu finální úpravy	Příprava směsi hlíny, písku a vody	0,33	2	100	66,00 CZK	2,51 €
6	Omítka 1	Strana 1 - první a druhá vrstva	0,80	1	110	88,00 CZK	3,34 €
7	Sušení 1	Strana 1 v místnosti sušení (doba mezi 3 až 6 hodinami, dle teploty)	1,00	1	150	150,00 CZK	5,70 €
8	Omítka 2	Strana 2 - první a druhá vrstva	0,80	1	110	88,00 CZK	3,34 €
9	Sušení 2	Strana 2 v místnosti sušení (doba mezi 3 až 6 hodinami, dle teploty)	1,00	1	150	150,00 CZK	5,70 €
10	Finální povrch	Aplikace vápna	1,50	1	100	150,00 CZK	5,70 €
11	Ostatní	Uskladnění / štítkování / balení	0,50	2	100	100,00 CZK	3,80 €
12	Nakládání	Nakládání a manipulace	0,15	8	100	122,69 CZK	4,66 €
Celková cena práce bez DPH						1 341,10 CZK	50,93 €

Obr. 14 Panel – náklady na práci [vlastní]

V tabulce je rozepsána cena práce bez DPH dle stanovišť standardizované výroby bez vlivu digitalizace, či robotizace. Práce probíhají v nízkém stupni mechanizace s nulovou automatizací. Celková cena práce činí **1341,10 Kč** bez DPH.

4.1.3 Celková cena za Panel

Celková cena za Panel je bez zisku.

Do celkové ceny vstupuje:

- Cena za surový materiál
- Cena za spotřební prvky
- Cena za elektřinu
- Cena práce

Celková cena tedy činí 2913,61 Kč bez DPH.

<i>Celková cena za eko panel 2650.1000.350 bez DPH</i>	2 913,61 CZK	90,47 €
---	---------------------	----------------

Obr. 15 Celková cena za eko panel [vlastní]

5 Informační modelování staveb

Kapitola se věnuje specifickému využití metodiky BIM pro účel vytvoření konečné rodiny Eko Panelu 2650.1000.350.

Spolupráce a digitalizace i v tomto subodvětví přírodního stavitelství je inovátorská a koncepční. Cílem je umožnit efektivnější spolupráci všem zúčastněným stranám a to investorům, výrobcí i klientovi.

Metodika digitalizace ekonomiky a přístupu k výrobě slaměných eko bloků má za cíl zajistit dlouhodobou konkurenceschopnost a prosperitu. Digitalizace výrobního procesu založená na metodice BIM má za cíl pomoci rozvoji výroby slaměných panelů. Transformace přírodního stavitelství skrze principy BIM technologií pomůže zvýšit i atraktivitu na trhu.

Metodika BIM se tak podílí nejen na výrobě, ale i na digitálním stavebním řízením při účasti na celém životním cyklu všech procesů od schvalování, výroby, až po montáž, prodej a facility management.

Informační model má být:

- Parametrický, tudíž flexibilní, škálovatelný.
- Parametrický, objektově orientovaný model.

Je představen nový úhel pohledu na využití slámy a spojení technologie informačního modelování. Sláma jako tradiční, ačkoliv ve stavebním průmyslu nekonvenční materiál, má mnoho využití, ale má i svá omezení. Informační modelování se využívá ve světě, stejně jako u nás. Aplikace informačního modelování při výstavbě slaměných domů může přinést mnohé výhody jak při výrobě eko panelů, tak při sestavení domů přímo na staveništi.

Cílem je prezentovat řešení, které je efektivní, ekonomicky výhodné a používá technologii informačního modelování.

Objektem je každý jednotlivý element. Jsou to jednotlivé prvky modelované reality. Takový objekt sebou nese jak data, tak vlastnosti související funkčnosti. Vlastnost entity je označení pro prvek z množiny informací, které tuto entitu charakterizují.

Základními vlastnostmi objektu jsou:

- Vnitřní paměť (má vlastnost něco si pamatovat)
- Metody objektu (procedury a funkce)
- Schopnost přijmout a zpracovat zprávu z vnějšku
- Jiné objekty, kterým je schopen poslat zprávu, a tak řídit jejich činnost

Vlastnosti objektů se také dělí na:

- Proměné:
 - Nositel atributů, charakteristik objektu
 - Datové hodnoty v objektu
- Metody:
 - Dovednosti objektů
 - Funkce nad proměnnými

Každý objekt má také parametr. Jedná se o objektově orientované parametrické modelování. Parametr je pomocná proměnná pro ukládání vstupních hodnot funkce. Hodnota proměnné může být:

- Délka
- Objem
- Plocha
- Šířka
- Hmotnost
- Z definice informačního modelování budov vyplývá, že každý prvek má svou identitu.

A další potřebné parametry jako jsou objemová hmotnost nebo požární odolnost.

5.1 Produkt – Eko Panel

Založená firma maTerra nabízí:



Obr. 16 Eko panel [9]

- Nejšetnější stavební materiál na trhu
- Na produkci a sestavení stačí pouze 10 dní
- 100% ekologický produkt
- Digitálně modelované panely, které se chovají jako stavebnice

Na začátku jsou také slaměné balíky, jenž se vloží do dřevěné kazety, uvolní se jejich sepnutí a 5 tunovým lisem se stlačí na požadovanou mez únosnosti. Dojde k zatížení, které působí tak, že poté při svislém zatížení již nebude dále sedat. Naprosto zásadní podíl zatížení tak spočívá na stlačené slámě a nikoliv na sloupcích dřevěné kazety.

5.2 Prefabrikace

Prefabrikace je výroba dle přesných údajů. Přesně se ví, kam jaký díl má přijít a jsou známy jeho parametry. Správné nadefinování údajů dopomůže k možnosti sledování prvků a subprvků napříč celou výrobou, ale i celým životním cyklem prvků. Pokud někde něco chybí, ví se přesně, co chybí. Navíc prefabrikace umožňuje rychlé dodělávky.

Slaměné balíky se mohou ve výrobě lisovat do dřevěných kazet, kde se zpracovává i omítka a finální povrch. To je prefabrikace. Slaměné balíky lze aplikovat i přímo na stavbě. Riziko jsou vyčnívající jednotlivá stébla slámy, která jsou potenciální ohrožení v případě požáru. Také se podstatně hůře zamezuje vniknutí nežádoucí a kritické vlhkosti do slámy. Více než doporučené je okamžitá aplikace první vrstvy omítky hned po konstrukčním dokončení. To znamená stlačení balíků v konečné aplikaci ve zdech. [3]

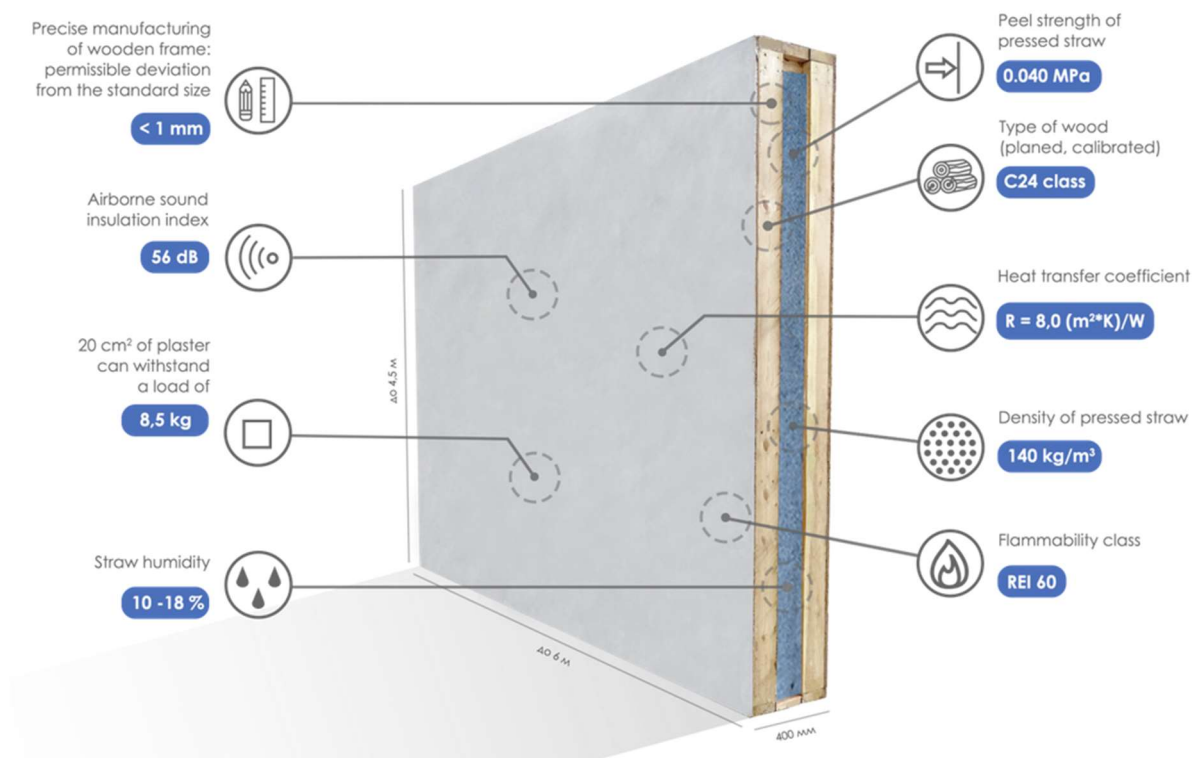
Verze modulární prefabrikace:

- 1) Dělníci, ručně, slabší úroveň mechanizace
- 2) Využití digitálního modelu panelu, vysoká úroveň robotizace

Kdy součet bloků tvoří panel. Typy panelů jsou:

- Dle rozměrů
- S otvorem
- Bez otvoru
- S tzb
- Bez tzb
- Nosný
- Interiérová příčka
- Podlahový
- Stropní
- Střešní

Kapitola 5 se nezabývá celou výrobou, ale je věnována pouze vytvoření digitálního eko panelu, použitelného při výrobě a výstavbě.



Obr. 17 Eko panel – vlastnosti [8]

„Byl zjištěn fakt, že pro konstrukci z dřevěných sloupků tepelně izolovanou slámovými balíky, která byla z interiérové strany opatřena hliněnou omítkou a z exteriérové strany opatřena hliněnou omítkou a z exteriérové strany opatřena vápennou omítkou vykazuje třídu ohnivzdornosti F90.“ [3]

Může se jednat o výstavbu pouze z panelů, může se jednat i o kombinaci konvenčních a nekonvenčních materiálů. Vždy však bude podíl subdodavatelů, kteří budou nezastupitelní. Jako například dodávka oken, dveří, klempířských prací apod.

Firma se zaměřuje na výrobu, prodej výrobních linek, návrhu domů až po prodej domů a s tím spojeným marketingem. Není předmětem této práce pokrýt všechny části. Předmětem této diplomové práce je specificky pokrýt pouze jednu stěžejní část, a to je zdefinování fyzického eko bloku do digitálního prostředí.

Informační model stavby s sebou nese klíčové informace nejen o jednotlivých elementech, ale také o databázi informací použitelné pro výrobu a návaznost procesů pro IT specialisty v týmu, kteří rozvíjejí cílovou finální podobu digitálního dvojčete. Digitální dvojče pracuje s informačním modelem potenciální stavby a prvků jako takových.

Před stlačením slámy je důležité, aby se už při zatížení dalších konstrukcí sláma více nestlačila. Jak je u slámy řešena únosnost? Představte si balík papíru do tiskárny, kdy poprosíte svého kolegu, aby se na tento balík postavil. Balík papíru se vlivem zatížení stlačí, ale po dosažení maximální komprese se již balík papíru dále stlačovat nebude. S balíkem slámy je to zcela stejné. Tak se dosahuje požadované únosnosti.

5.3 Elementy Eko Panelu 2650.1000.350

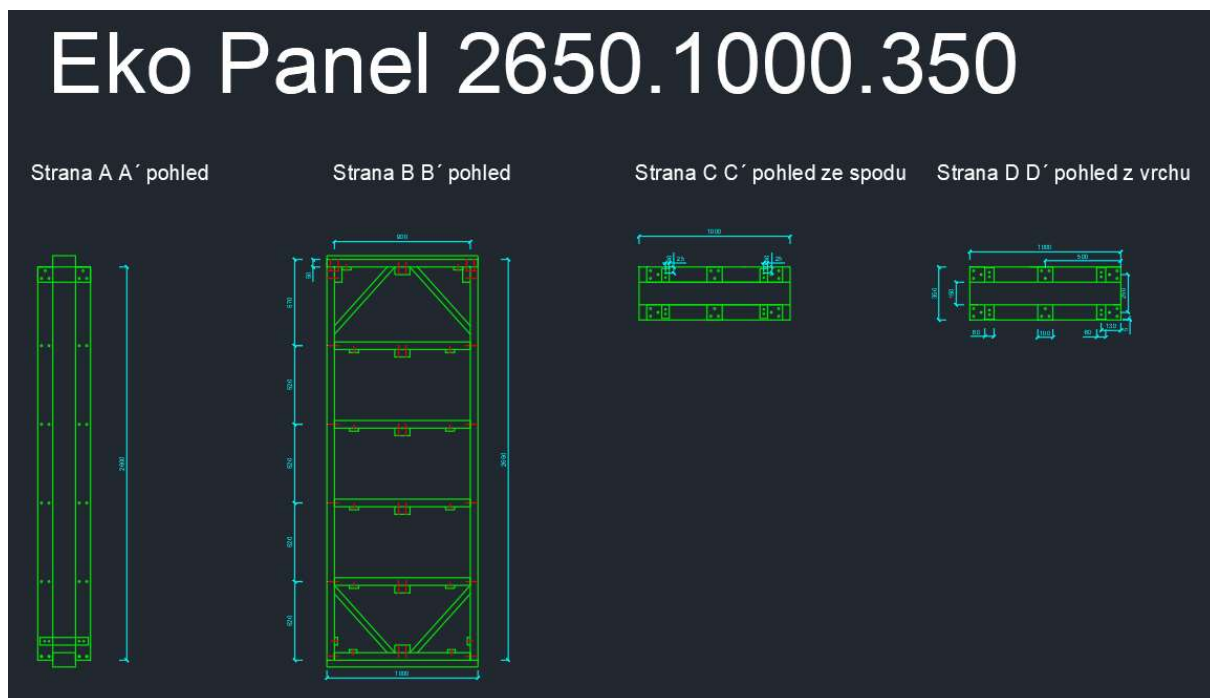
V jednoduše řečeném principu jde o převedení fyzického objektu do digitálního se vším detailem i parametry. Pro tvorbu eko bloku v Revitu je potřeba přesné dokumentace. Dokumentace byla vytvořena v software AutoCad a je určena pro vytvoření objektů rodin eko bloku.

Dřevěné elementy, neboli prvky bloku, tvoří dle norem d x š x v mm:

- Stěna panelu vnější rozměry 2600 x 350 mm 2 ks (levá a pravá)
- Spodní koncová rozpěra (S1) 1 ks
- Horní koncová rozpěra (S2) 1 ks
- Střední rozpěra (S3) 4 ks
- Vzpěra 598 x 50 x 50 (524) mm 8 ks
- Horní nosník 1000 x 150 x 75 1 ks
- Spodní nosník 1000 x 150 x 95 1 ks
- Vzpěra

Ostatní element, které nebyly implementovány v aplikaci Revit, jsou:

- Balíky slámy
- Omítka
- Pletivo
- Plst (umísťuje se po stranách panelu)



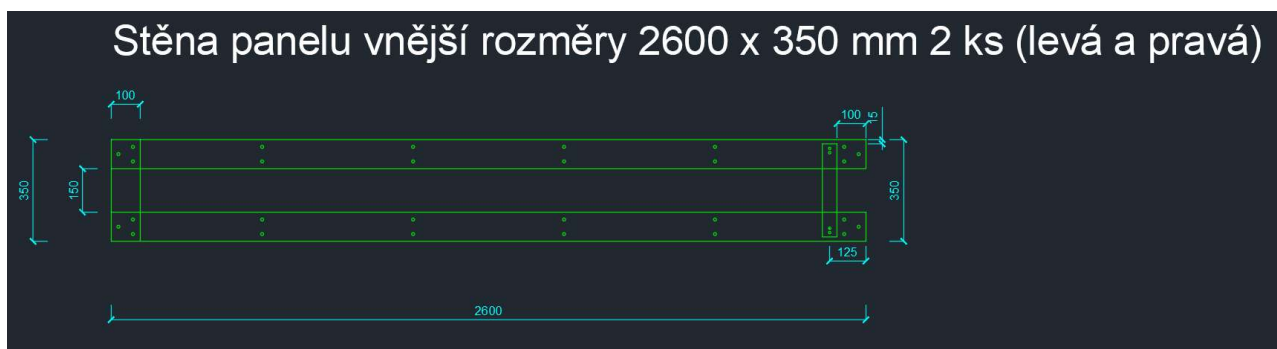
Obr. 18 Eko panel – výrobní dokumentace [vlastní]

Pro Eko Panel 2650.1000.350 byla vytvořena dokumentace. Tato dokumentace je klíčový aspekt, který by měl být splněn před začátkem tvorby rodiny v Revitu. Tvorba rodiny je zdokumentována v kapitole 5.8.1 Aplikace v Revitu – dokumentace.

5.4 Dřevěná kazeta panelu

Následující kapitoly 5.4.1. – 5.4.7. prezentují v detailech jednotlivé prvky dřevěné kazety panelu. Prvky jsou tvořeny subprvky, jsou rozepsány v kapitole 4. v ekonomické analýze a jsou prezentovány ve výkresové dokumentaci v souboru přílohy č. 21. Dřevo tak tvoří obalovou, ale i ztužující konstrukci. Hlavní funkce je udržení slámy na místě při postupném vtlačení do kazety při její montáži. Ve svém výsledku tak kazeta tvoří tvar panelu zdiva. Spolu se slámou tvoří základní element, kde už jen zbývá aplikovat omítku a úpravu finálního povrchu.

5.4.1 Pravá a levá stěna panelu



Obr. 19 Stěna panelu [vlastní]

Detail viz příloha

Stěna panelu o vnějším rozměru v půdoryse 2600 x 350 mm je zapotřebí 2x. Skládá se ze subprvků:

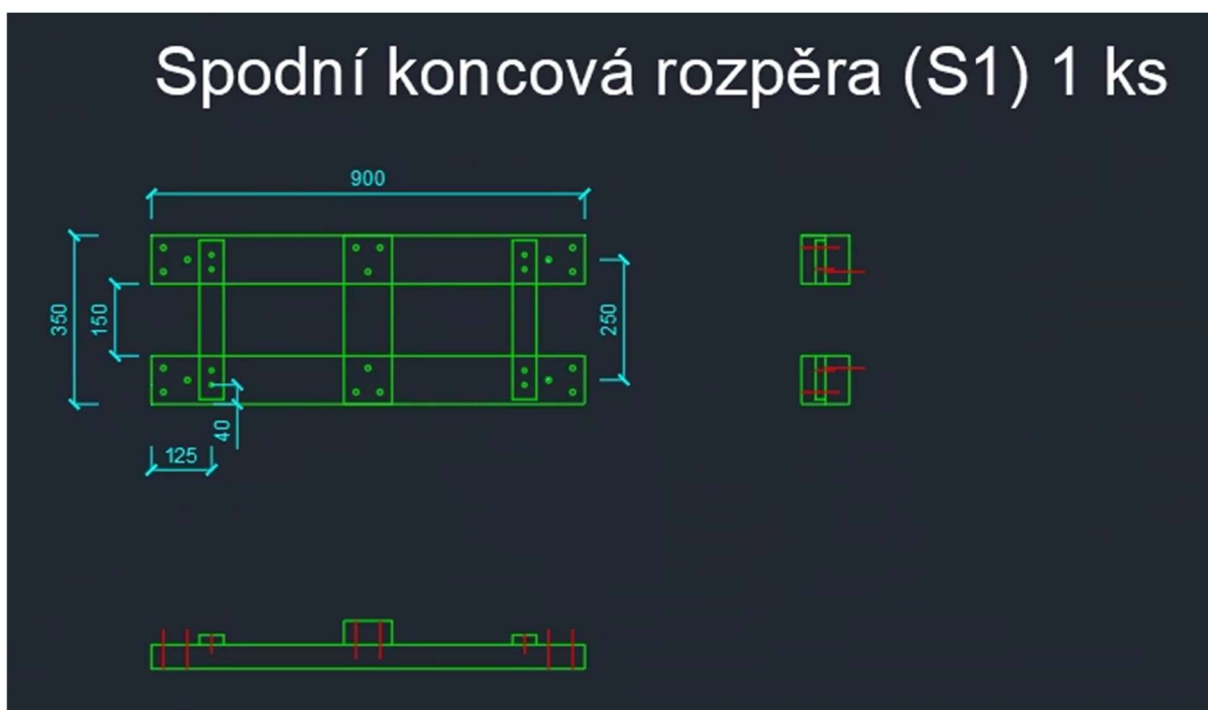
1	Příčka	2600 x 100 x 50
2	Malý sloupek	320 x 50 x 20
3	Velký sloupek	350 x 100 x 50

Obr. 20 Rozměry [vlastní]

Malý sloupek je spojen čtyřmi vruty 4 x 40 a velký sloupek je spojen šesti vruty 5 x 80. V dokumentaci jsou zaznamenány všechny potřebné kóty, včetně kót pro průměr hlav, míst vrtů, a to kvůli identifikaci a stanovení počtu vrtů pro ekonomické výpočty i limitky materiálů.

Nejen, že z dokumentace je znám přesný a potřebný počet vrtů, včetně jeho typu. Je však známá i poloha umístění vrtání pro vruty. Hloubka vrutu v konstrukci je pak znázorněna v řezu.

5.4.2 Spodní koncová rozpěra S1



Obr. 21 Spodní koncová rozpěra (S1) [vlastní]

Spodní koncová rozpěra (S1) tvoří vnitřní část, na které slaměné balíky „sedí“. Stěny panelu jsou přivrtány k této části z bočních stran. Skládá se z subprvků:

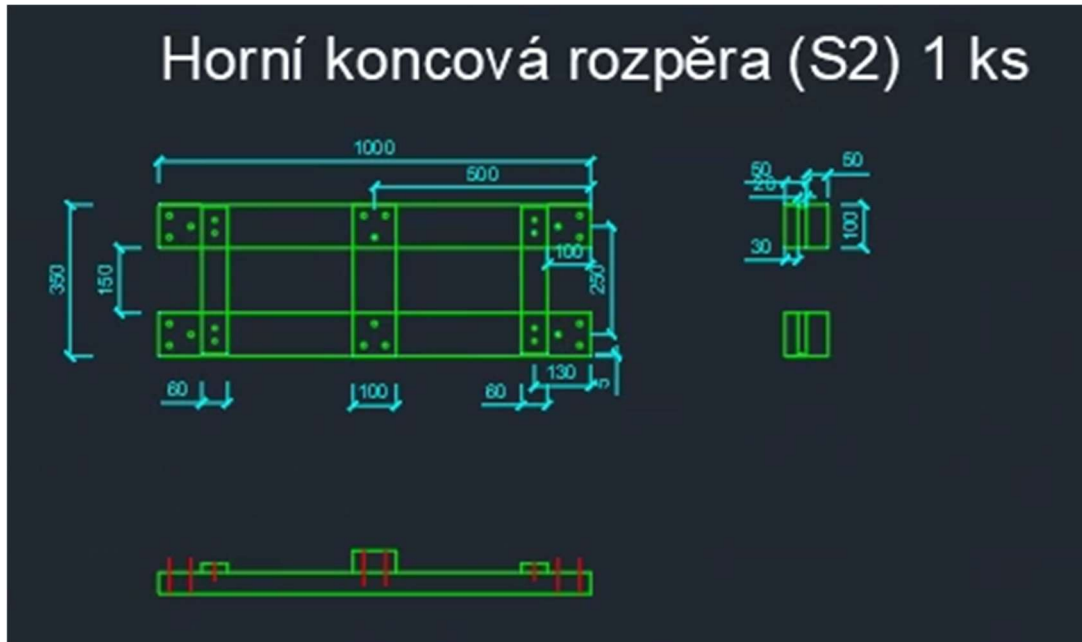
4	Příčka	900 x 100 x 50
5	Velký sloupek	350 x 100 x 50
6	Malý sloupek	330 x 50 x 20

Obr. 22 Rozměry [vlastní]

Každý malý sloupek je spojen čtyřmi vruty 4 x 40 a velký sloupek je spojen šesti vruty 5 x 80. V dokumentaci jsou zaznamenány všechny potřebné kóty, včetně kót pro průměr hlav, míst vrutů, a to kvůli identifikaci a stanovení počtu vrutů pro ekonomické výpočty i limitky materiálů.

Nejen, že z dokumentace je znám přesný a potřebný počet a typ vrutů. Je však známá i poloha umístění vrtání pro vruty. Hloubka vrutu v konstrukci je pak znázorněna v řezu.

5.4.3 Horní koncová rozpěra S2



Obr. 23 Horní koncová rozpěra (S2 [vlastní])

Horní koncová rozpěra (S2) přiklápí a ztužuje konstrukci stěn panelu. Skládá se z subprvků:

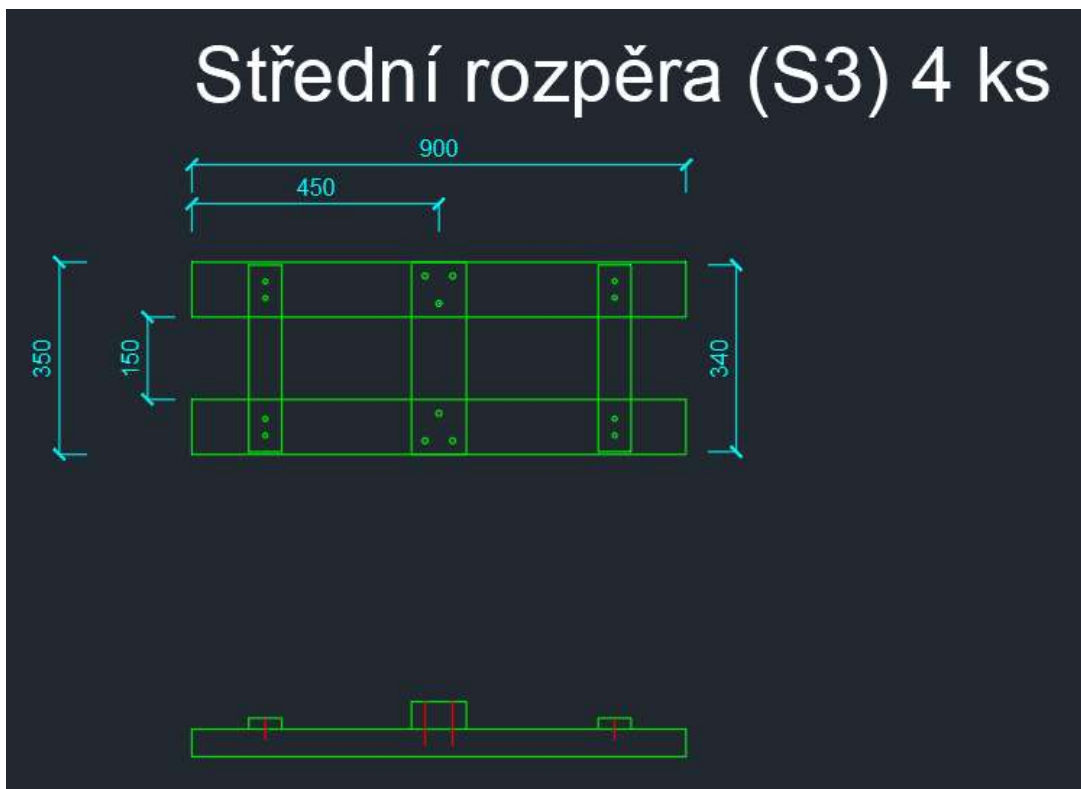
7	Příčka	1000 x 100 x 50
8	Velký sloupek	350 x 100 x 50
9	Malý sloupek	340 x 60 x 20

Obr. 24 Rozměry [vlastní]

Malý sloupek je spojen čtyřmi vruty 4 x 40 a velký sloupek je spojen šesti vruty 5 x 80. V dokumentaci jsou zaznamenány všechny potřebné kóty, včetně kót pro průměr hlav, míst vrutů, a to kvůli identifikaci a stanovení počtu vrutů pro ekonomické výpočty i limitky materiálů.

Nejen, že z dokumentace je znám přesný a potřebný počet a typ vrutů. Je však známá i poloha umístění vrtání pro vruty. Hloubka vrutu v konstrukci je pak znázorněna v řezu.

5.4.4 Střední rozpěra S3



Obr. 25 Střední rozpěra (S3) [vlastní]

Střední rozpěra (S3) je zapotřebí v množství 4 ks. Přivrtává se skrze prvky bočních stěn panelu vždy po umístění a stlačení balíku slámy. Skládá se z subprvků:

10	Příčka	900 x 100 x 50
11	Velký sloupek	350 x 100 x 50
12	Malý sloupek	340 x 60 x 20

Obr. 26 Rozměry [vlastní]

Každý malý sloupek je spojen čtyřmi vruty 4 x 40 a velký sloupek je spojen šesti vruty 5 x 80. V dokumentaci jsou zaznamenány všechny potřebné kóty, včetně kót pro průměr hlav, míst vrutů, a to kvůli identifikaci a stanovení počtu vrutů pro ekonomické výpočty i limitky materiálů.

5.4.5 Vzpěra P6

13 Vzpěra 598 x 50 x 50 (524) mm 8 ks



Obr. 27 Vzpěra [vlastní]

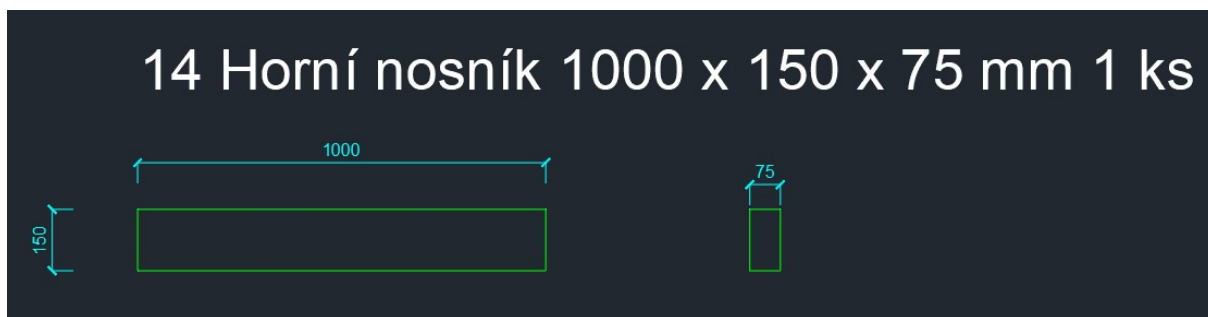
Vzpěra slouží jako dodatečný stužující prvek k zachování zvýšené prostorové tuhosti celého Eko Panelu.

13	Vzpěra	598 x 50 x 50 (524)
----	--------	---------------------

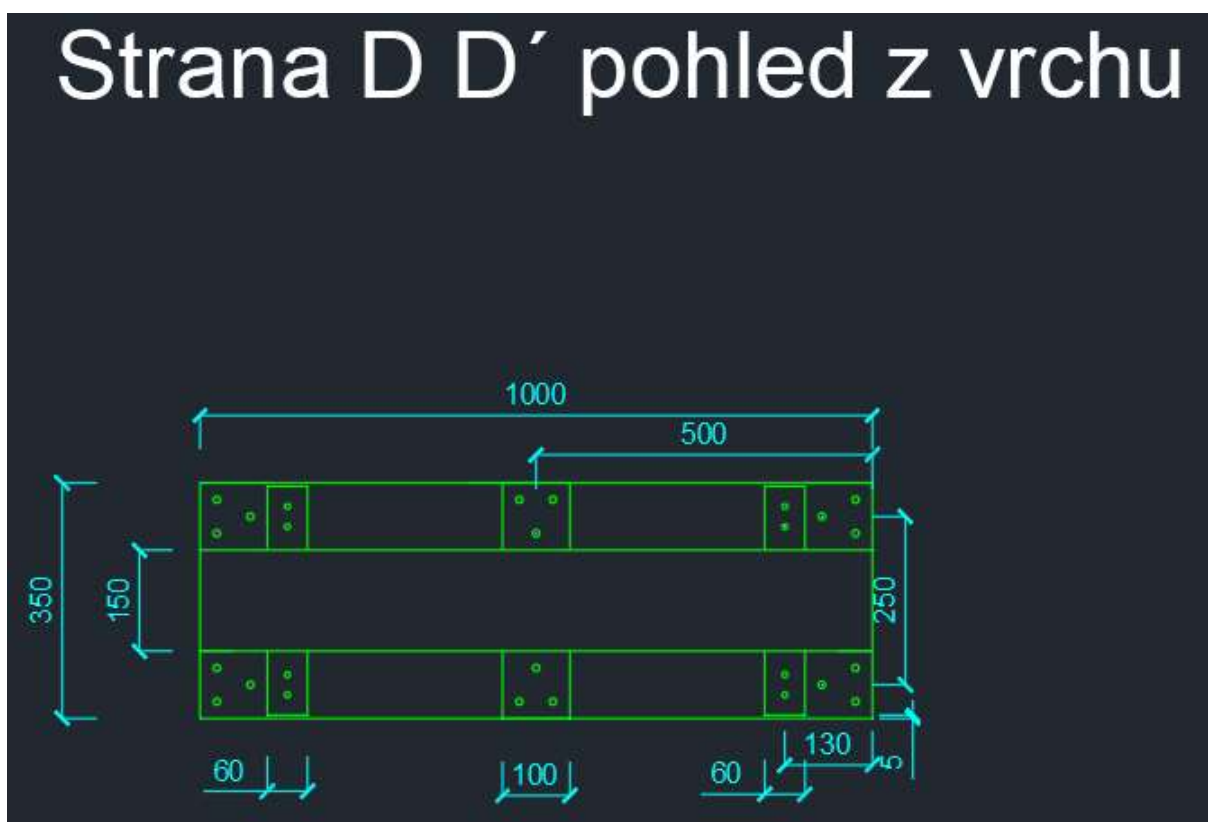
Obr. 28 Rozměry [vlastní]

Každá vzpěra je umístěna do vyfrézované drážky ve stlačené slámě v panelu a přišrobuje se na každé straně jedním vrutem typu 5 x 80. To vyvolává potřebu na materiál vrutů typu 5 x 80 v množství 16 ks.

5.4.6 Horní nosník



Obr. 29 Horní nosník [vlastní]



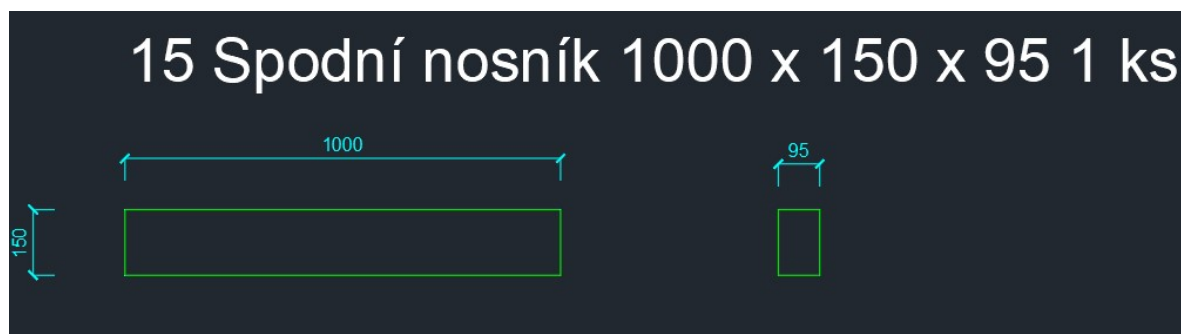
Obr. 30 Horní nosník 1 [vlastní]

Horní nosník je jednoduše dřevěný hranol o rozměrech:

14	Horní nosník	1000 x 150 x 75
----	--------------	-----------------

Obr. 31 Rozměry [vlastní]

5.4.7 Spodní nosník

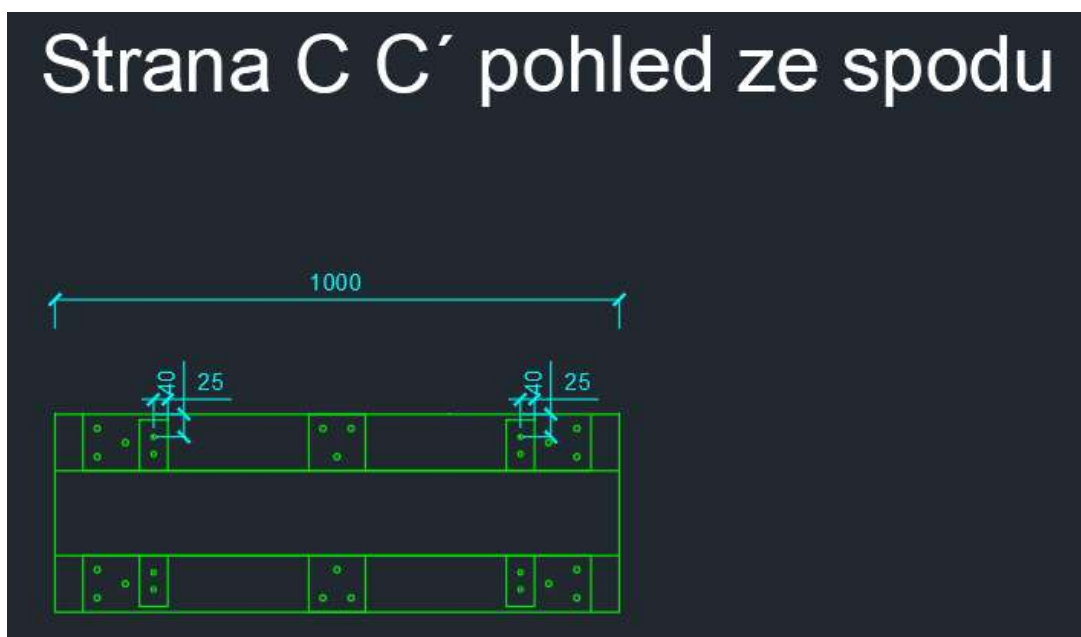


Obr. 32 Spodní nosník [vlastní]

Horní nosník je jednoduše dřevěný hranol o rozměrech:

15	Spodní nosník	1000 x 150 x 95
----	---------------	-----------------

Obr. 33 Rozměry [vlastní]



Obr. 34 Spodní nosník 1 [vlastní]

5.5 Aplikace v Revitu – dokumentace

Kapitola přebírá informace a data z kapitoly 5.4. Soustředí se čistě na dokumentaci postupu v aplikaci Revit.

Záměrně byla použita verze Revit 2021 pro motivaci uživatelů instalace nejaktuálnější verze, a také za předpokladu naplnění vize hledící do budoucnosti. Druhým faktorem byla zvolena instalace na školním serveru z důvodu výkonnější kapacity operační paměti než na lokálním zařízení, na kterém byla práce psána. A to ve prospěch 16 GB RAM proti 4 GB RAM, která je obecně pro Revit nedostačující.

Přehled podkapitol:

- Revit – Architektura
- Parametry – příprava
- Šablona
- Definice počtu souborů
- Střed – uzamčení
- Omezení
- Typ vs instance parametru
- Parametry – implementace
- Referenční roviny
- Geometrie elementů
- Načtení komponenty – rodiny
- Prvky
- Eko Panel 2650.1000.350 – dřevěná kazeta

5.5.1 Revit – Architektura

Obecně Revit a každá jeho verze funguje v rozhraní předem definované strukturou, kterou stanovili vývojáři.

Architektura Revitu:

- Kategorie
- Rodina
- Typ
- Instance

Rodina se dále dělí na další dva typy:

1. Ty, co můžeme editovat

V editoru rodin můžeme tyto rodiny vytvářet, upravovat a načítat do projektů.

2. Ty, co nemůžeme – systémové rodiny

Tzn. neměli bychom kopírovat a pokoušet se editovat systémovou rodinu. Systémové rodiny lze editovat pouze na úrovni typu. Systémové rodiny tvoří například zdi, podlahy, střechy.

5.5.2 Parametry – příprava

Než se začne vytvářet rodina v editoru rodin, je nejdříve krajně doporučeno definovat všechny parametry, které se budou v rodině či rodinách vyskytovat. Mělo by být doporučené stavenování všech parametrů před začátkem tvorby a modelace objektů v editoru rodin v aplikaci Revit. Tento krok se provádí za předpokladu, že již byla výkresová dokumentace všech prvků v náležitém detailu vytvořena, kde lze vidět všechny rozměry. Co se týká politiky tvorby definice rodin, je dobré držet se v principech, které byly předem dány.

Typy všech zvolených a definovaných parametrů:

- Délka
- Šířka
- Výška
- Objem (výpočet probíhá vzorcem na základě hodnot $d \times š \times v$)
- Objemová hmotnost
- Hmotnost
- Cena
- Difúzní odpor
- Požární odolnost
- Zvuková neprůzvučnost
- Certifikace (nějakého druhu?)
- Optimální teplota sušení
- Optimální doba sušení

Přehled zmíněných parametrů v sumě spadá do kategorií:

- Parametry subprvku
- Parametry prvku
- Parametry panelu

Panel	ID panelu						
	1	Kazeta	ID kazety				
			11	Prvek	ID prvku	Název typu	
						Subprvek	
						ID Subprvku	
				Pravá a levá stěna panelu	111	1 Příčka	1111
						2 Malý sloupek	1112
						3 Velký sloupek	1113
				Spodní koncová rozpěra (S1)	112	4 Příklad	1114
						5 Velký sloupek	1115
						6 Malý sloupek	1116
				Horní koncová rozpěra (S2)	113	7 Příklad	1117
						8 Velký sloupek	1118
						9 Malý sloupek	1119
				Střední rozpěra (S3)	114	10 Příklad	11110
						11 Velký sloupek	11111
						12 Malý sloupek	11112
				Vzpěra (P6)	115	13 Vzpěra	11113
						13.1 Vzpěra	111133
				Horní nosník	116	14 Horní nosník	11114
				Spodní nosník	117	15 Spodní nosník	11115
				Balík slámy	118	16 Sláma	11116
		1. vrstva		Omitka	119	17 Sláma	11117
						18 Hlína	11118
						19 Písek	11119
						20 Voda	11120
		2. vrstva		Finální povrch	120	21 Vápno	11121
						22 Kazeta	11121

Obr. 35 Parametry 1 [vlastní]

Tabulka přílohy parametrů byla vložena i do práce pro okomentování a vysvětlení logiky a odpovězení otázek, jako například proč byl který parametr zvolen a k čemu slouží. Také zavedení parametrů pro využití při modelování, i parametrů pro výrobu a účely sledování určitých atributů panelu v průběhu životního cyklu. Kupříkladu parametr identifikace prvku, neboli ID, byl vytvořen ze dvou důvodů. Vyplývá to z definice metodiky BIM a logiky Revitu. Eko Panel je stavební prvek modulárního eko domu a bude vhodné znát, jaký prvek se nachází v objektu, kde je umístěn a jaké má parametry.

Tabulku mohu printscreenovat po částech a dát vždy patřičný komentář, proč jsem jaký parametr zvolil, jak to s tím souvisí a k čemu si myslím, že by tam měl být. Myšlenka pro další využití. Protože eko panel je základní stavební prvek modulárního eko domu.

		délka	hodnota	jednotky	šířka	hodnota	jednotky	výška	hodnota	jednotky
Název typu										
Subprvek	ID Subprvku	d	x		š	x		v		
1 Příčka	1111	1 Příčka d	2600	mm	1 Příčka š	100	mm	1 Příčka v	50	mm
2 Malý sloupek	1112	2 Malý sloupek d	320	mm	2 Malý sloupek š	50	mm	2 Malý sloupek v	20	mm
3 Velký sloupek	1113	3 Velký sloupek d	350	mm	3 Velký sloupek š	100	mm	3 Velký sloupek v	50	mm
4 Příčka	1114	4 Příčka d	900	mm	4 Příčka š	100	mm	4 Příčka v	50	mm
5 Velký sloupek	1115	5 Velký sloupek d	350	mm	5 Velký sloupek š	100	mm	5 Velký sloupek v	50	mm
6 Malý sloupek	1116	6 Malý sloupek d	330	mm	6 Malý sloupek š	50	mm	6 Malý sloupek v	20	mm
7 Příčka	1117	7 Příčka d	1000	mm	7 Příčka š	100	mm	7 Příčka v	50	mm
8 Velký sloupek	1118	8 Velký sloupek d	350	mm	8 Velký sloupek š	100	mm	8 Velký sloupek v	50	mm
9 Malý sloupek	1119	9 Malý sloupek d	340	mm	9 Malý sloupek š	60	mm	9 Malý sloupek v	20	mm
10 Příčka	11110	10 Příčka d	900	mm	10 Příčka š	100	mm	10 Příčka v	50	mm
11 Velký sloupek	11111	11 Velký sloupek d	350	mm	11 Velký sloupek š	100	mm	11 Velký sloupek v	50	mm
12 Malý sloupek	11112	12 Malý sloupek d	340	mm	12 Malý sloupek š	60	mm	12 Malý sloupek v	20	mm
13 Vzpěra	11113	13 Vzpěra d	598	mm	13 Vzpěra š	50	mm	13 Vzpěra v	50	mm
13.1 Vzpěra	111133	13.1 Vzpěra d k	524	mm						
14 Horní nosník	11114	14 Horní nosník d	1000	mm	14 Horní nosník š	150	mm	14 Horní nosník v	75	mm
15 Spodní nosník	11115	15 Spodní nosník d	1000	mm	15 Spodní nosník š	150	mm	15 Spodní nosník v	95	mm
16 Sláma	11116	16 Sláma d	1000	mm	16 Sláma š	500	mm	16 Sláma v	400	mm
17 Sláma	11117	17 Sláma								
18 Hlína	11118	18 Hlína								
19 Písek	11119	19 Písek								
20 Voda	11120	20 Voda								
21 Vápno	11121	21 Vápno								
22 Kazeta	11121	22 Kazeta d	2650	mm	22 Kazeta š	1000	mm	22 Kazeta v	350	mm

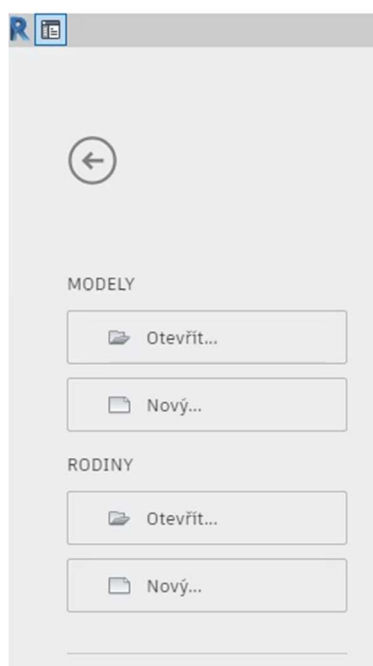
Obr. 36 Parametry 2 [vlastní]

Ve výše uvedené tabulce jsou definovány parametry rozměrů všech dřevěných subprvků pro vytvoření dřevěné kazety.

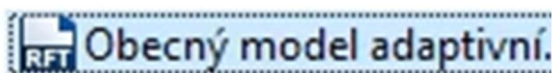
5.5.3 Šablona

Tvorba rodiny může vycházet z existující rodiny a její editace. Může také vycházet ze vzorové šablony. Byla použita šablona adaptivní rodiny. Spadá to do takových rodin, jenž se následně přizpůsobují modelu. Adaptivní rodina byla zvolena v domnění nejlepší aplikace pro demonstraci vytvoření subprvků, následných prvků a Eko Panelu 2650.1000.350.

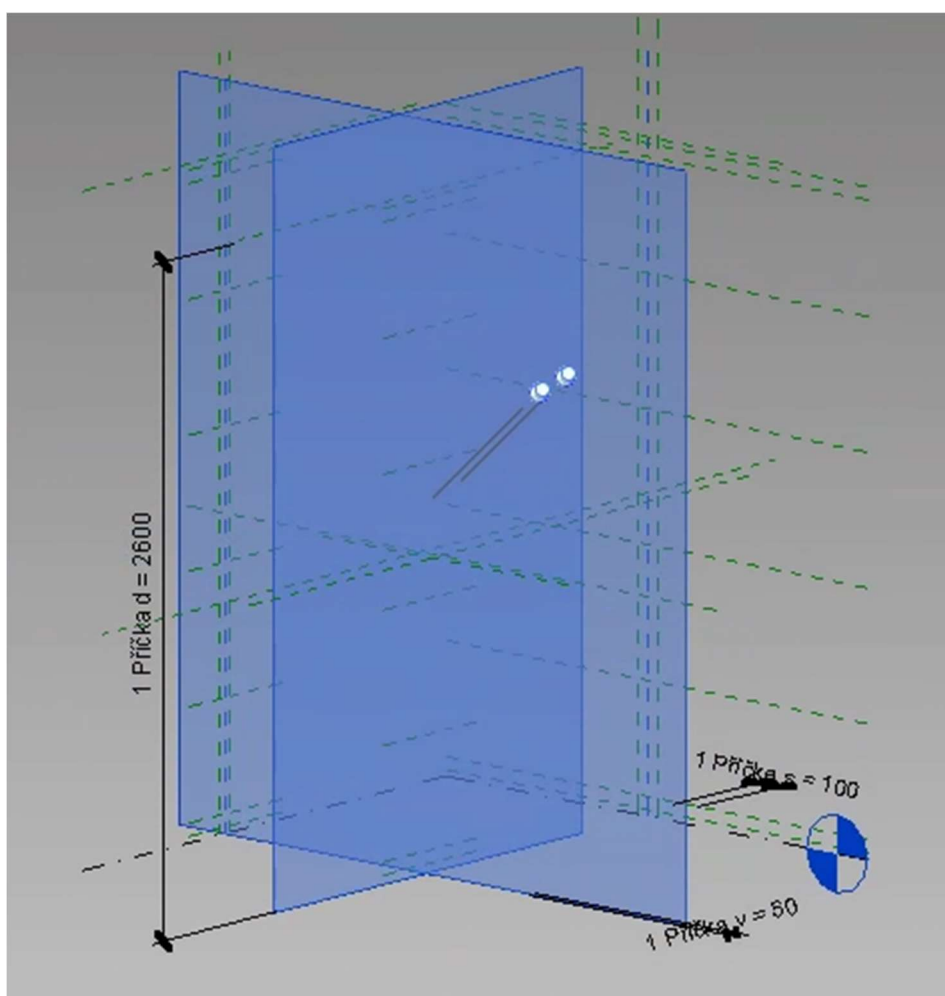
Pro účel práce se vycházelo ze šablony rodiny adaptivní:



Obr. 37 Šablona [vlastní]



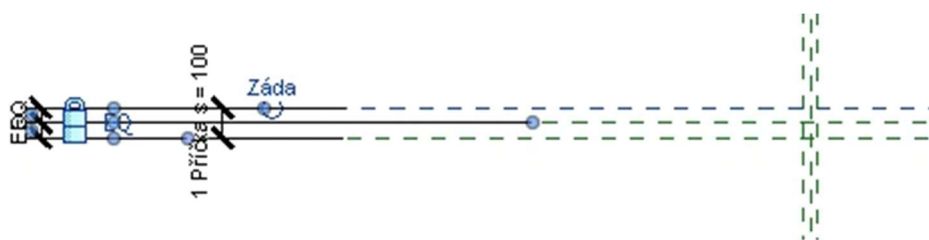
5.5.4 Střed - uzamčení



Obr. 38 Střed rovin - uzamčení [vlastní]

Pro konzistentní a lepší pozdější uchycení subprvků načtených v rodině prvků byla ve výchozím souboru stanovena myšlena přichycení základních dvou rodin na pevno funkcí k tomu určené.

5.5.5 Omezení

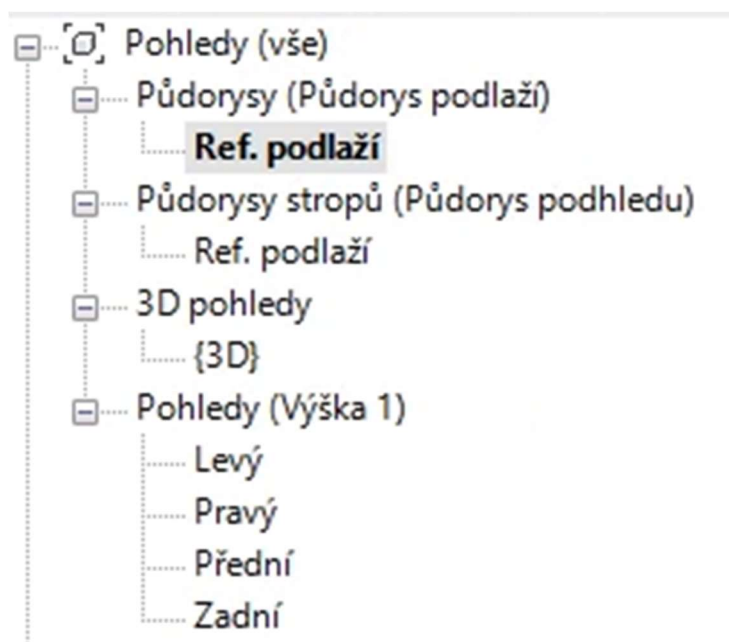


Obr. 39 Omezení [vlastní]

Od středu se stanovila vzdálenost rovin, která je ekvivalentní na obě strany. Tato vlastnost byla uzamčena. Bylo provedeno pro osy x i y v rovině Referenčního podlaží půdorysu podlaží.

5.5.6 Pohledy

Jako první krok po otevření šablony je dobré si definovat a pojmenovat pohledy, dle toho, jak budou používány. Jde především o logiku, která se bude dobře chápat nejen pro tvůrce rodiny, ale i další uživatele, kteří s ní potenciálně mohou pracovat.



Obr. 40 Pohledy [vlastní]

Určitě je dobré zachovat shodnout politiku pohledů napříč všemi soubory dílčích rodin subprvků i prvků.

5.5.7 Definice počtu souborů

Co se týká správné metodiky tvorby prvků, neexistuje žádná oficiální metodika. Je možné využít metody tvorby prvků tak, že se pracuje s referenční rovinou v pohledu přerušovanou čarou prezentující úsečku procházející pohledem.

Jeden z možných správných přístupů, jak postupovat, je vkládat komponenty rodiny do rodiny jí nadřazené. Neboli vyskytuje se tudíž rodina v rodině. Je to důležité hlavně kvůli přehlednosti, jasné struktuře logiky, i pro přehlednou strukturu parametrů, které se tak vážou na každou rodinu zvlášť. Rodiny se pak načítají do jiné rodiny. Dále bude představeno v kapitole 5.9.12 Načtení komponenty – rodiny.

-  Příloha č. 1 - 1 Příčka 2600 x 100 x 50 mm 4 ks.rfa
-  Příloha č. 2 - 2 Malý sloupek 320 x 50 x 20 mm 2 ks.rfa
-  Příloha č. 3 - 3 Velký sloupek 350 x 100 x 50 mm 3 ks.rfa
-  Příloha č. 4 - Stěna panelu vnější rozměry 2700 x 350 mm 2 ks (levá a pravá).rfa
-  Příloha č. 5 - 4 Příčka 900 x 100 x 50 mm 2 ks.rfa
-  Příloha č. 6 - 5 Velký sloupek 350 x 100 x 50 1 ks.rfa
-  Příloha č. 7 - 6 Malý sloupek 330 x 50 x 20 2 ks.rfa
-  Příloha č. 8 - Spodní koncová rozpěra (S1) 1 ks.rfa
-  Příloha č. 9 - 7 Příčka 1000 x 100 x 50 2 ks.rfa
-  Příloha č. 10 - 8 Velký sloupek 350 x 100 x 50 mm 1 ks.rfa
-  Příloha č. 11 - 9 Malý sloupek 340 x 60 x 20 2 ks.rfa
-  Příloha č. 12 - Horní koncová rozpěra (S2) 1 ks.rfa
-  Příloha č. 13 - 10 Příčka 900 x 100 x 50 8 ks.rfa
-  Příloha č. 14 - 11 Velký sloupek 350 x 100 x 50 mm 4 ks.rfa
-  Příloha č. 15 - 12 Malý sloupek 340 x 60 x 20 8 ks.rfa
-  Příloha č. 16 - Střední rozpěra (S3) 4 ks.rfa
-  Příloha č. 17 - 13 Vzpěra 598 x 50 x 50 (524) 4 ks.rfa
-  Příloha č. 18 - 14 Horní nosník 1000 x 150 x 75 mm 1 ks.rfa
-  Příloha č. 19 - 15 Spodní nosník 1000 x 150 x 95 mm 1 ks.rfa
-  Příloha č. 20 - Eko Panel 2650 x 1000 x 350 (dřevěná kazeta).rfa

Obr. 41 Definice počtu souborů [vlastní]

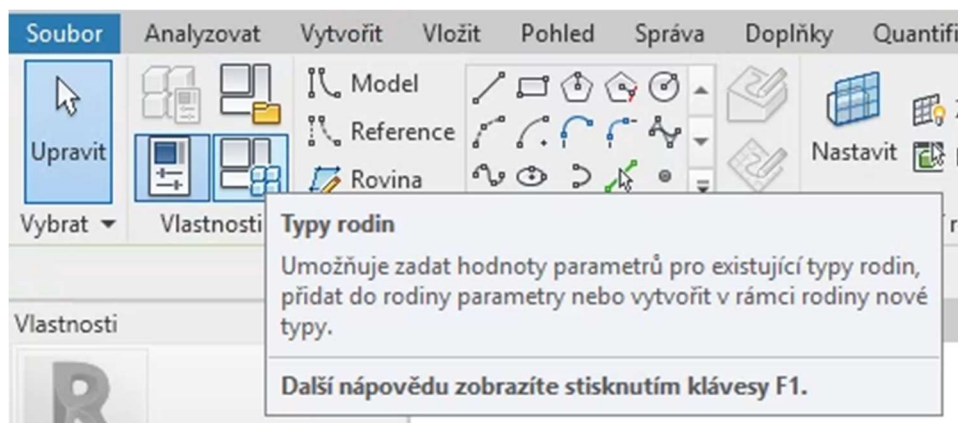
Tyto soubory prezentují potřebu rozkopírování jednoho souboru a následnou editaci dalších pro naplnění cíle mít pro každý subprvek rodinu zvlášť.

A proto byla stanovena struktura souborů kdy název je explicitní informací o objektu v rodině. Vždy se číselné rodiny vkládají do nečíselných rodin. To znamená:

- 1 Příčka 2600 x 100 x 50 mm 4ks
- 2 Malý sloupek 320 x 50 x 20 mm 2k
- 3 Velký sloupek 350 x 100 x50

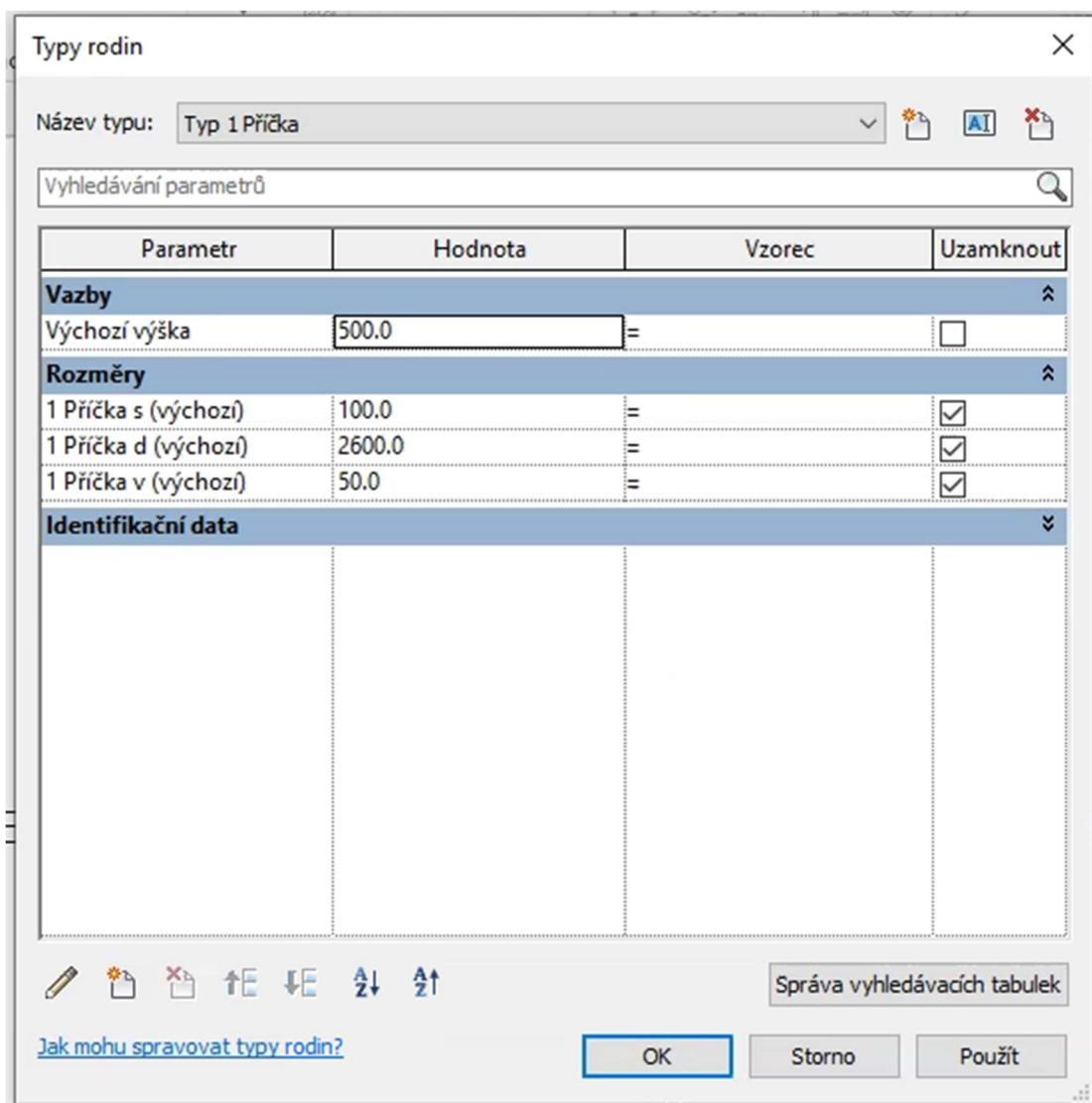
Vkládají se do Stěna panelu vnější rozměry 2650 x 350 mm 2 ks (levá a pravá). Rodina přílohy č. 4 se tak skládá z načtených rodin příloh 1-3 a současně má také své vlastní parametry a vlastní logiku referenčních rovin.

5.5.8 Typ vs instance parametru



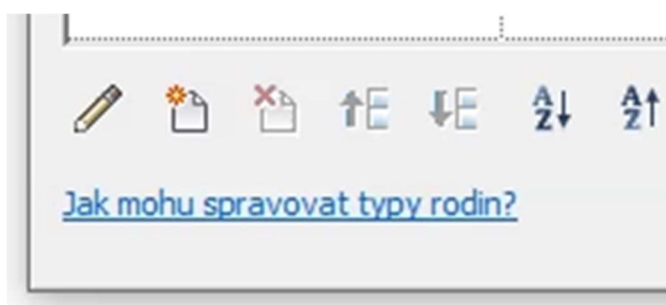
Obr. 42 Typy rodin – editace parametrů [vlastní]

Při vytvoření parametru se skrze funkci Typy rodin vstoupí do okna pro editaci rodiny na úrovni typu, kde se vytvoří a upraví parametry zvolené uživatelem, který rodinu projektuje.



Obr. 43 Editace parametrů [vlastní]

Stejná rodina má mnoho typů a je potřeba to odlišit. Každý typ má své parametry a každý parametr by měl být unikátní, pokud není žádoucí, aby se sjednocoval.



Obr. 44 Nový parametr [vlastní]

Ikonou prázdné stránky s hvězdičkou, podobně jako je v AutoCadu pro vytvoření hladiny, se otevře okno pro vytvoření parametru. V dřívějších verzích byl i text s tlačítkem, ve verzi Revitu 2021 bylo využito tlačítek s ikonami.

Obr. 45 Vlastnosti parametru [vlastní]

Do okna vlastností parametru se určí, zda se jedná o parametr rodiny či sdílený parametr. Uvede se vytvořený název – Určí se Disciplína, Typ parametru a také v jaké skupině parametr je. Dále je vhodné uvést Popis místní nápovědy. Ten se může hodit v případě předání projektu jinému uživateli, který bude potřebovat pochopit smysl konkrétního parametru.

Nejdůležitější je zvolit, zda se jedná o Typ či Instanci. Jelikož když se zvolí instance, bude platit parametr pouze pro tuto jednu konkrétní rodinu.








5.5.9 Parametry - implementace

Typy rodin

Název typu: Typ 1 Příčka

Vyhledávání parametrů

Parametr	Hodnota	Vzorec	Uzamknout
Vazby			
Výchozí výška	500.0	=	<input type="checkbox"/>
Rozměry			
1 Příčka s (výchozí)	100.0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
1 Příčka d (výchozí)	2600.0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
1 Příčka v (výchozí)	50.0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Identifikační data			
Cena		=	
ID subprvku (výchozí)	1	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Indexovaná poznámka		=	
Komentáře k typům		=	
Kód sestavy		=	
Model		=	
Popis		=	
Typ obrázku		=	
URL		=	
Výrobce		=	

Správa vyhledávacích tabulek

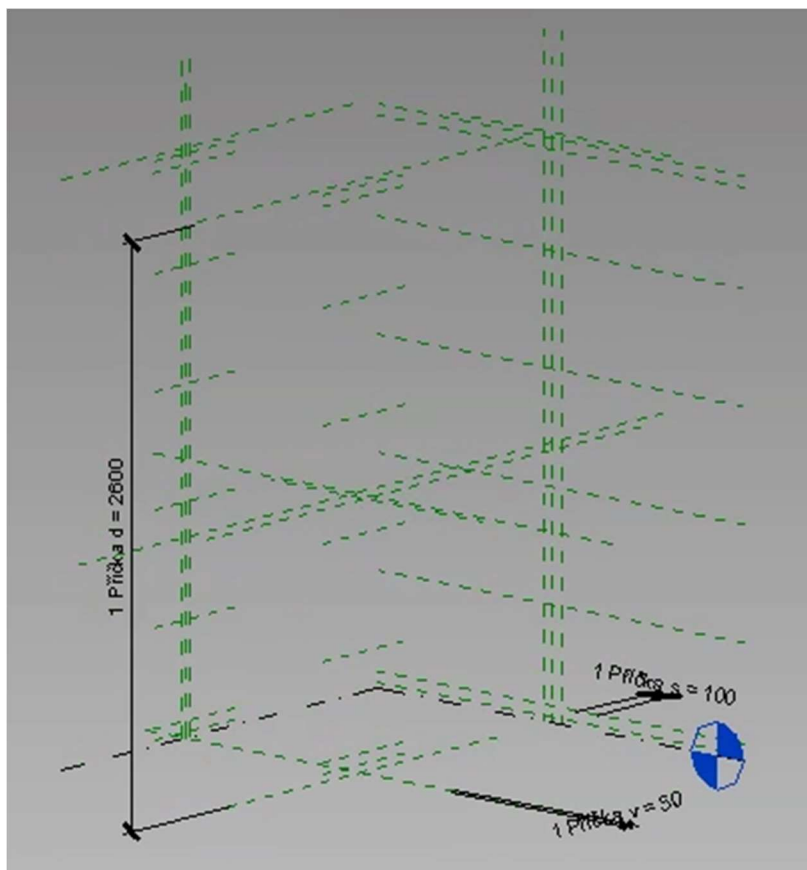
[Jak mohu spravovat typy rodin?](#)

Obr. 46 Implementace parametrů [vlastní]

Po vytvoření všech souborů rodin se vypíší všechny požadované parametry.

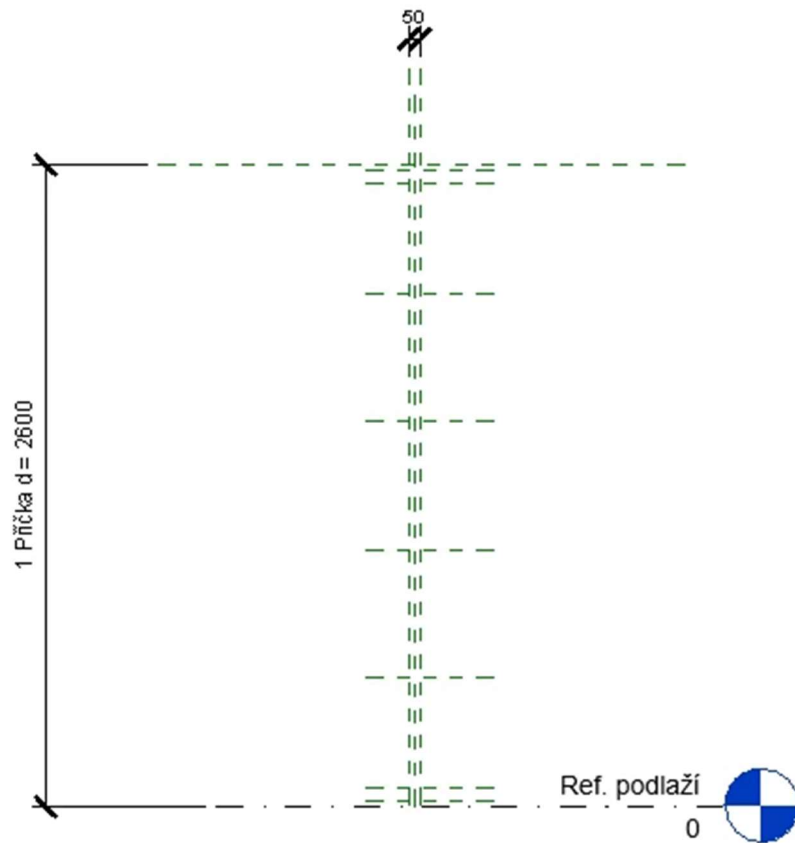
5.5.10 Referenční roviny

Daný je střed objektů a dle toho je orientováno v digitálním prostředí Revitu, pro který platí metodiky BIM. Diverzita v rozmanitosti referenčních rodin na obrázku je účelem prezentace diverzity pro uložení více prvků.



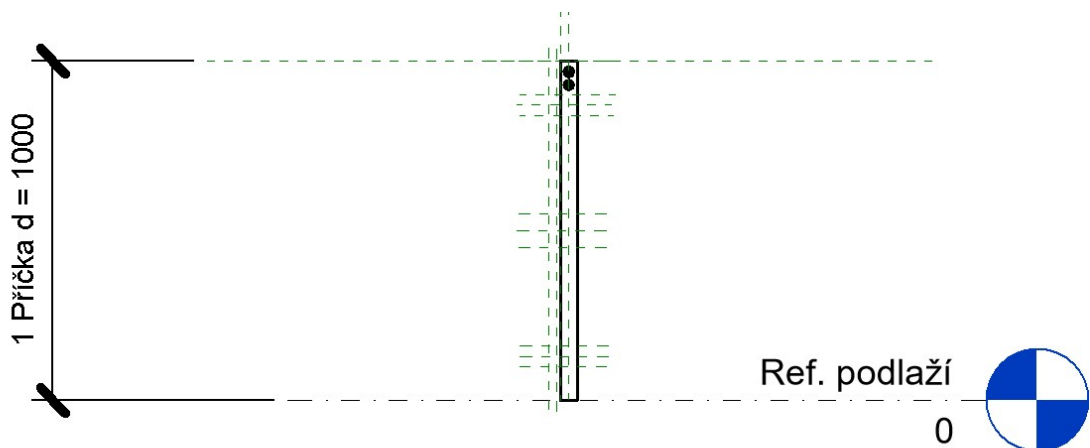
Obr. 47 Referenční roviny [vlastní]

Dále jsou zobrazeny některé z pohledů.



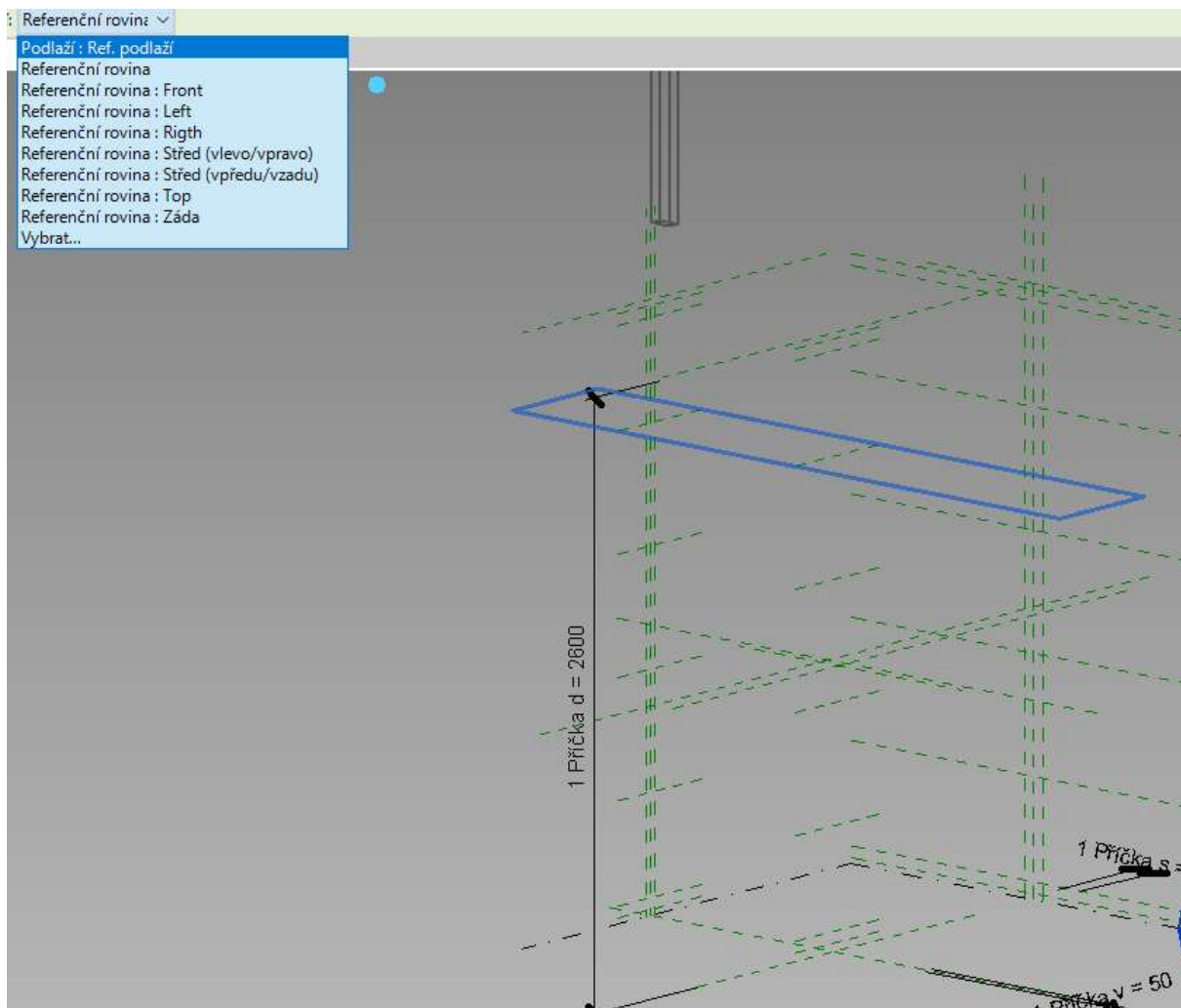
Obr. 48 Referenční roviny 1 [vlastní]

Zde se jedná o subprvek, pro který jsou uvedeny referenční roviny, které slouží pro umístění objektů v pozici jejich středů.



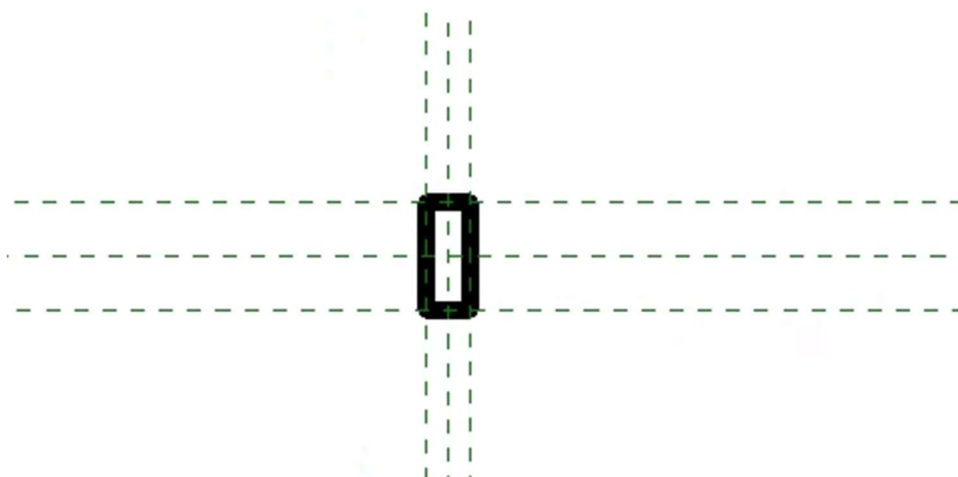
Obr. 49 Referenční roviny 2 [vlastní]

Pro lepší přehlednost je možné referenční roviny pojmenovat. To se dá provést pomocí pohledů a poklykáním na přerušovanou čáru reprezentující hranici referenční roviny. Doporučuje se vytvořit si nejdříve tabulku s danou logikou struktury názvů referenčních rovin pro lepší přehled před implementací v editoru rovin.



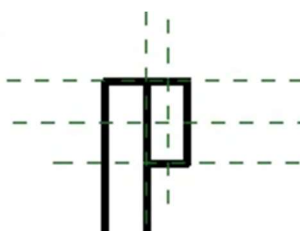
Obr. 50 Referenční roviny 3 [vlastní]

5.5.11 Geometrie Elementů

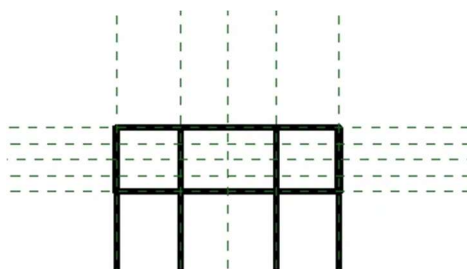


Obr. 51 Geometrie 1 [vlastní]

Teprve po dokončení referenčních rovin se provede geometrie objektů tvořena čarami v prostoru. Tím, že se umístí na hranici referenčních rovin splňuje vlastnost parametrizace a flexibility. Poté stačí jen změnit hodnotu parametru rozměru a změní se tak i dimenze celého objektu.

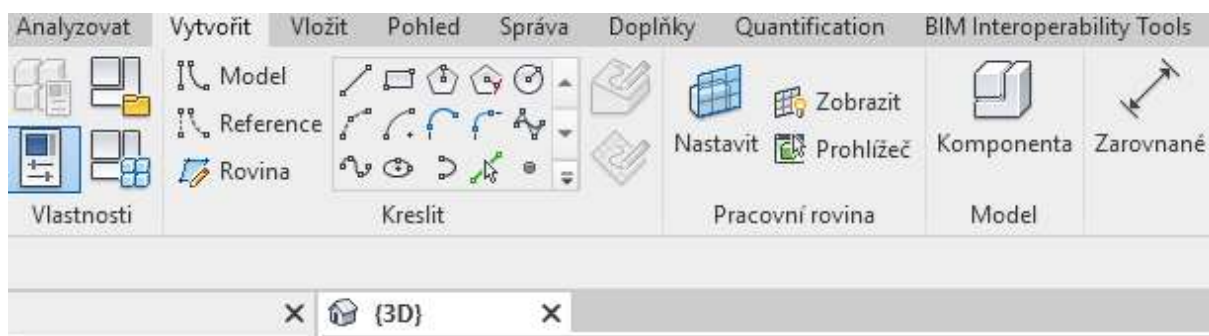


Obr. 52 Geometrie 2 [vlastní]



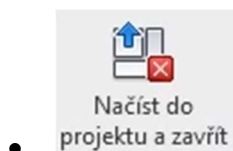
Obr. 53 Geometrie 3 [vlastní]

5.5.12 Načtení komponenty – rodiny



Obr. 54 Načtení komponenty [vlastní]

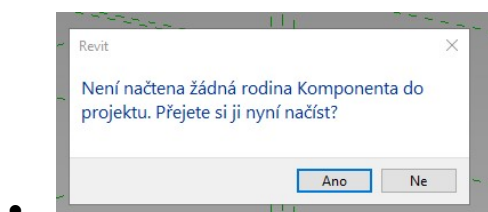
Načtení komponenty do jiného souboru rodiny se dá udělat více způsoby.



To znamená prvně si otevřít soubor, do kterého se budou načítat rodiny. Dále se otevře soubor, ze které se má načíst rodina do prvního otevřeného souboru. Ve druhém souboru se stiskne výše vyobrazené tlačítko a tím se provede načtení rodiny.

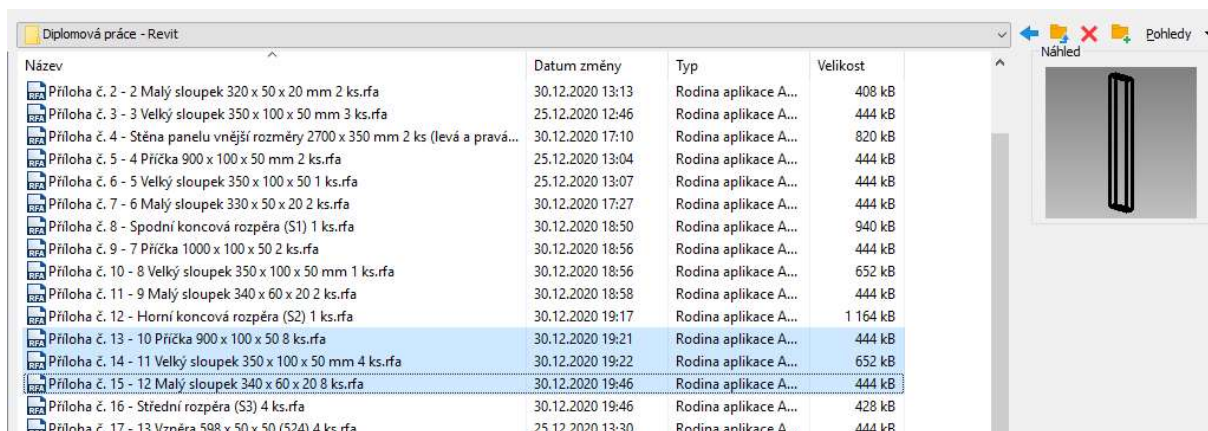


Další možnost je provést import rodiny do souboru více rodin vynucením. Po stisku výše zmíněného tlačítka se objeví otázka v případě, že ještě v databázi není načtena žádná rodina.



Vyobrazené okno nám tak dává zpětnou vazbu o absenci rodiny, takže nemůžeme žádnou použít.

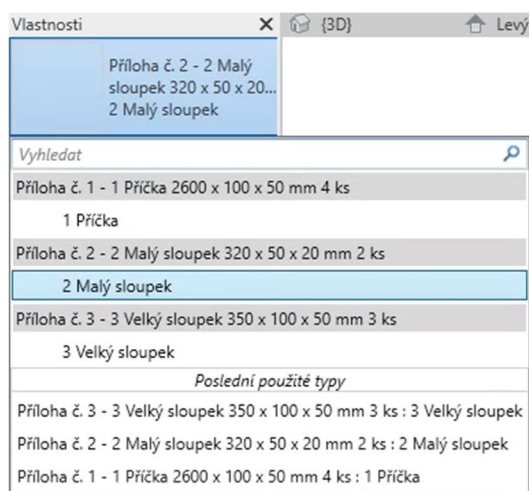
Po stisknutí tlačítka Ano, se otevře průzkumník souborů a uživatel si může zvolit jaké rodiny chce načíst do souboru, kde se sdružují.




Obr. 55 Načtení komponenty – průzkumník [vlastní]


Zde je názorný příklad načtení více rodin současně. Pro každou rodinu je vidět i náhled objektu, kdy si v případě nedostačujících názvů nebo malé znalosti projektu uživatel může rychle ověřit, o co se cca jedná.

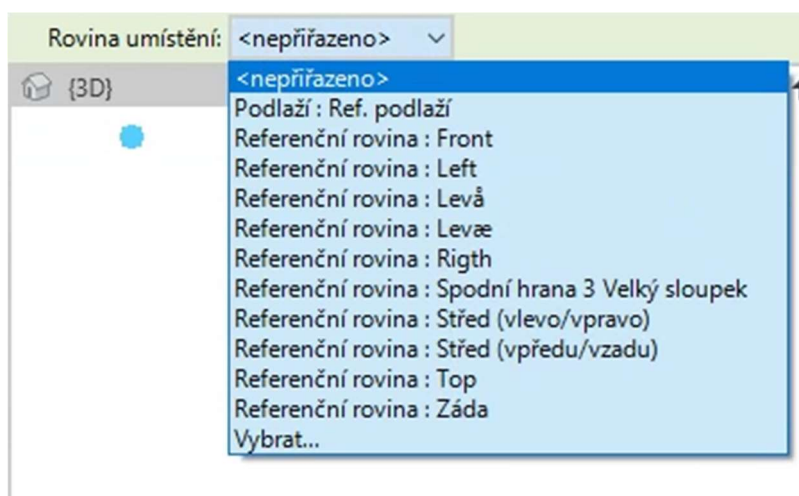
Tento druhý postup na rozdíl od prvního umožňuje hromadné načtení rodin, a proto byl v práci hojně využíván.



Obr. 56 Načtené komponenty [vlastní]

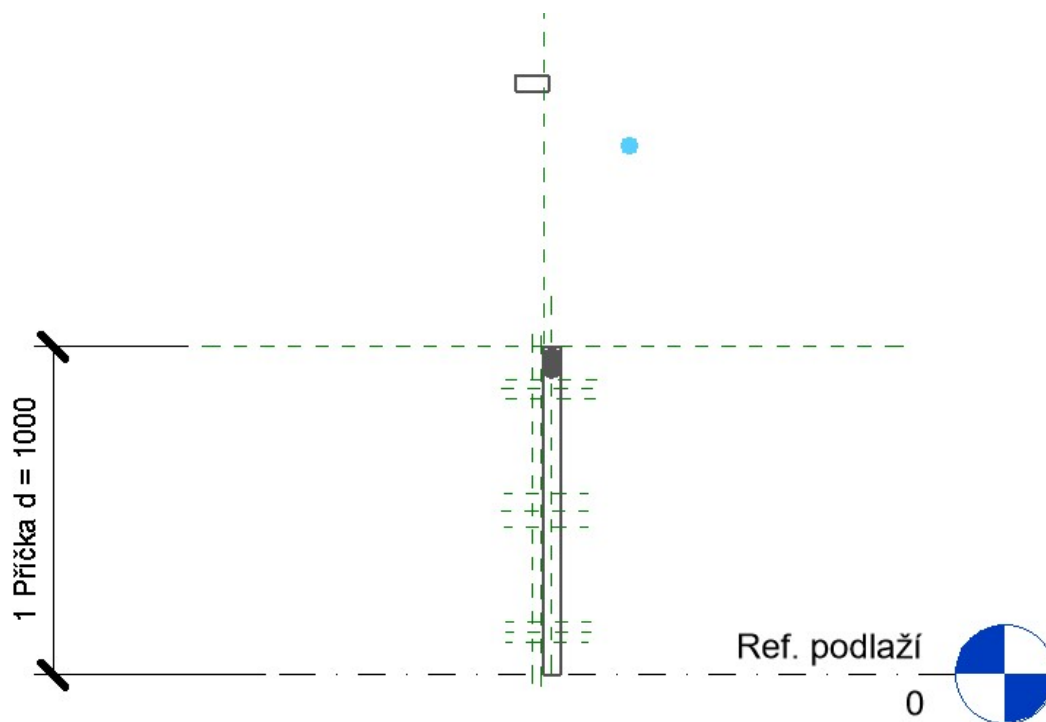
Po úspěšném načtení se při stisknutí  objeví možnost výběru typu rodiny objektu pro aktuální využití a umístění v rodině. Zde je uvedený příklad třech prvních subprvků. Pro sestavení prvku – Pravá a levá stěna panelu (ID prvku 111).

Pro správné umístění načtené komponenty je potřeba jít přes  a umístit do Referenční roviny, ve které se má nacházet.



Obr. 57 Rovina umístění [vlastní]

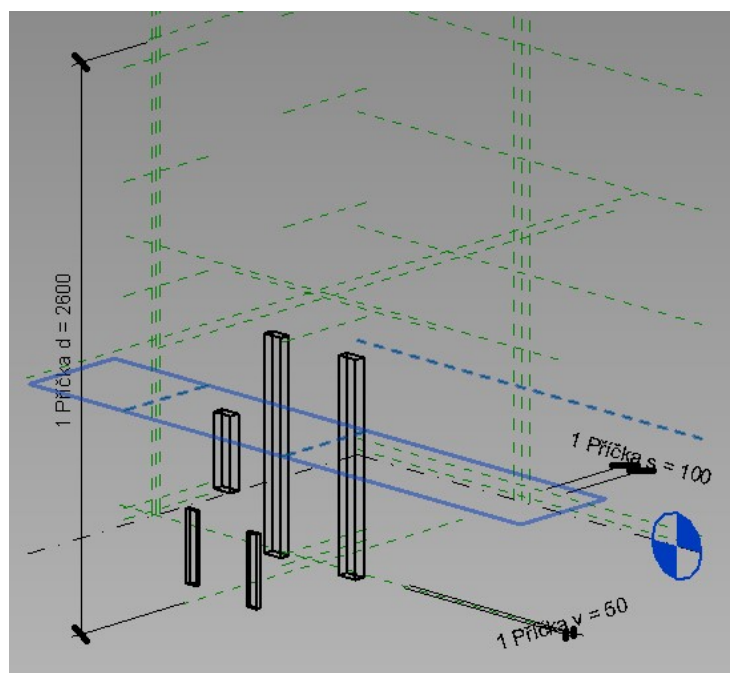
Umístěním objektu do správné roviny se umožňuje úspěšné propojení s rovinou. Je tak možné ukotvit v pohledu prvek ke správné rovině nebo jejich střetů.



Obr. 58 Pohled [vlastní]

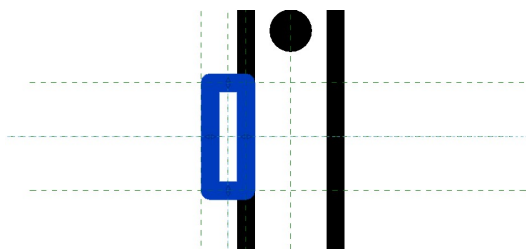
Umístění prvků do správného pohledu se považuje za nejpřesnější cestu, jak vložit objekt načtené rodiny.

Vložení subprvků do rodiny je možné i v 3D pohledu.

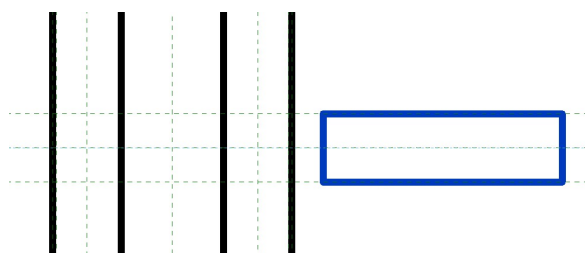


Obr. 59 3D pohled [vlastní]

Pokud je potřeba vidět, jak se prvek umístil v prostoru rodiny je umístění objektu přímo ve 3D pohledu vhodným řešením. Z předchozí definice, dle kapitoly 5.9.4 Střed – uzamčení, metodou středů jsou objekty zachycovány do bodu průsečíku rovin právě přes střed objektů.




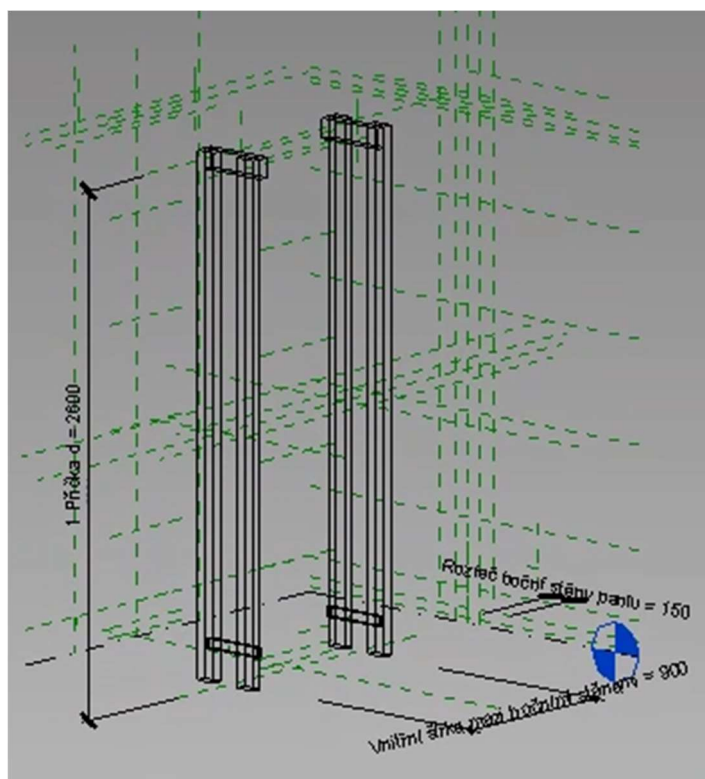
Obr. 60 Pohled 1 [vlastní]




Obr. 61 Pohled 2 [vlastní]

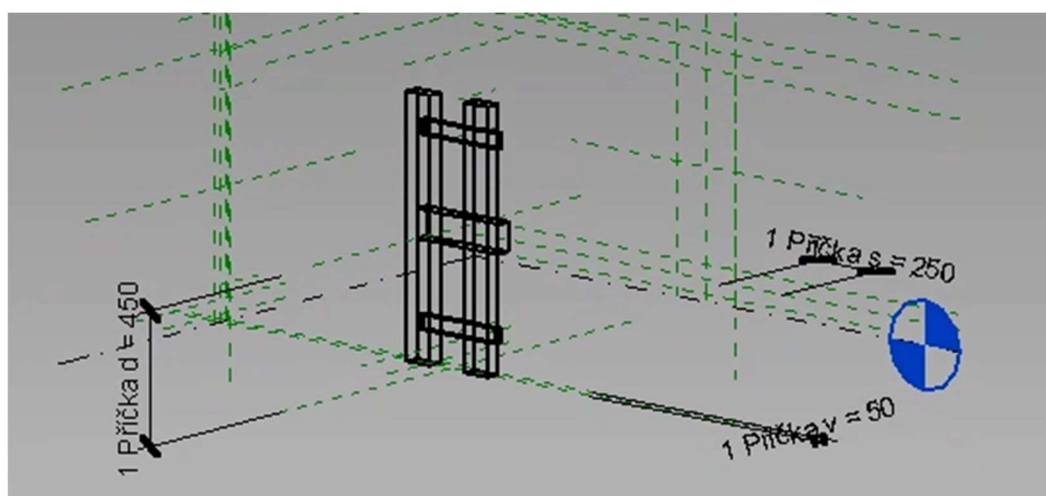
5.5.13 Prvky

 Příloha č. 4 - Stěna panelu vnější rozměry 2700 x 350 mm 2 ks (levá a pravá).rfa



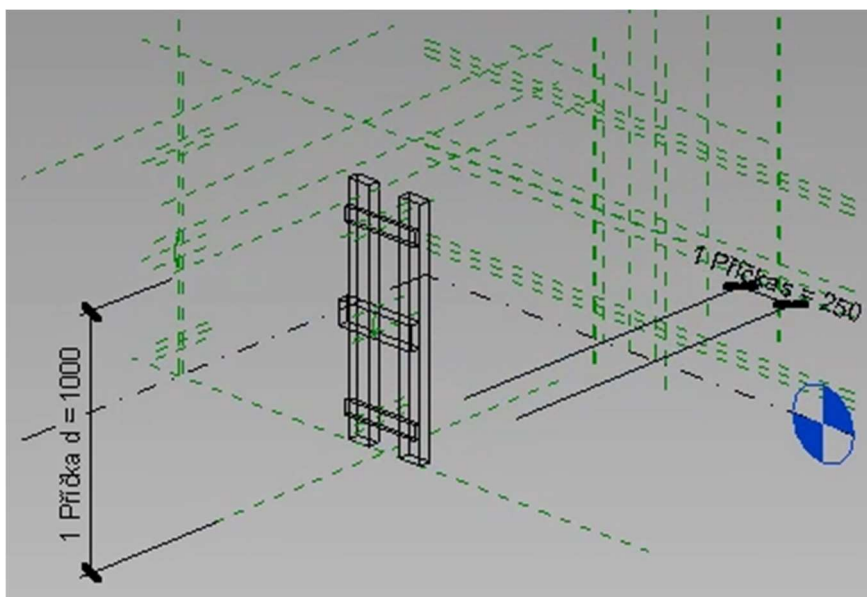
Obr. 62 Stěny panelu [vlastní]

 Příloha č. 8 - Spodní koncová rozpěra (S1) 1 ks.rfa



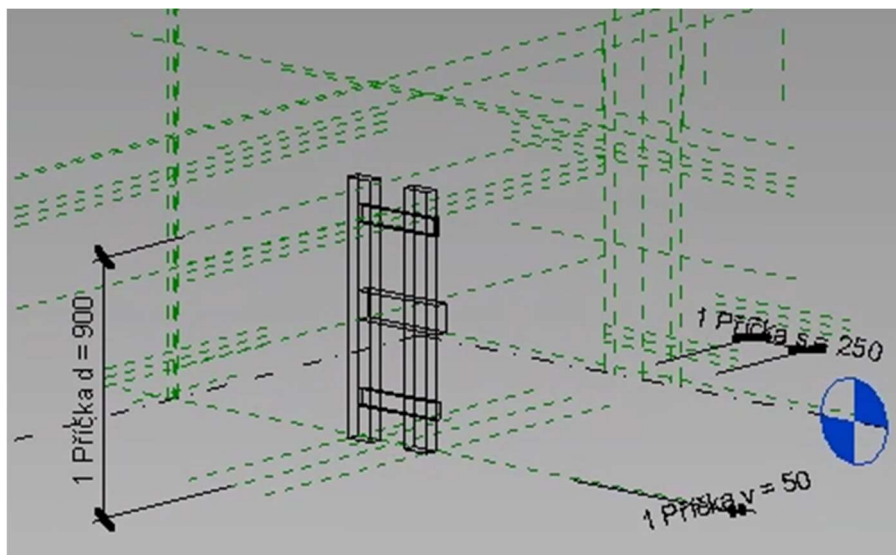
Obr. 63 S1 [vlastní]

 Příloha č. 12 - Horní koncová rozpěra (S2) 1 ks.rfa

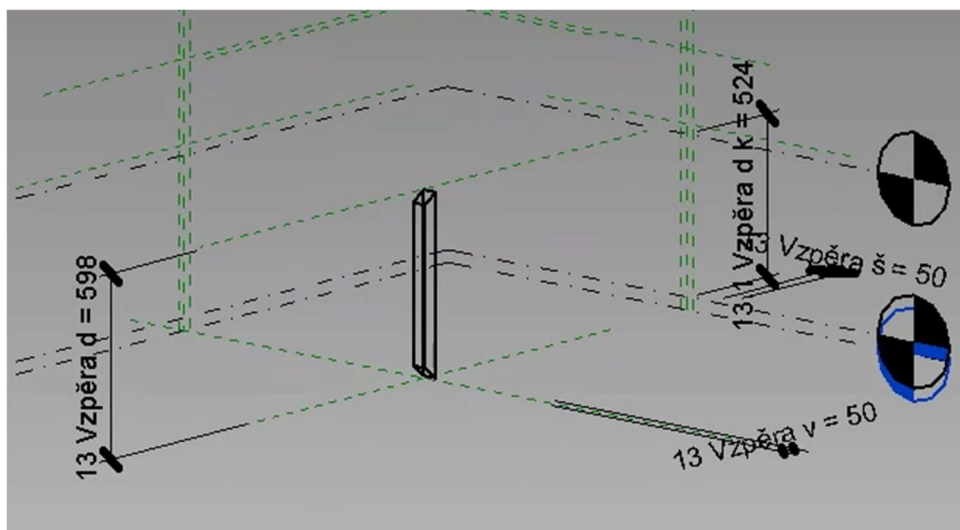


Obr. 64 S2 [vlastní]

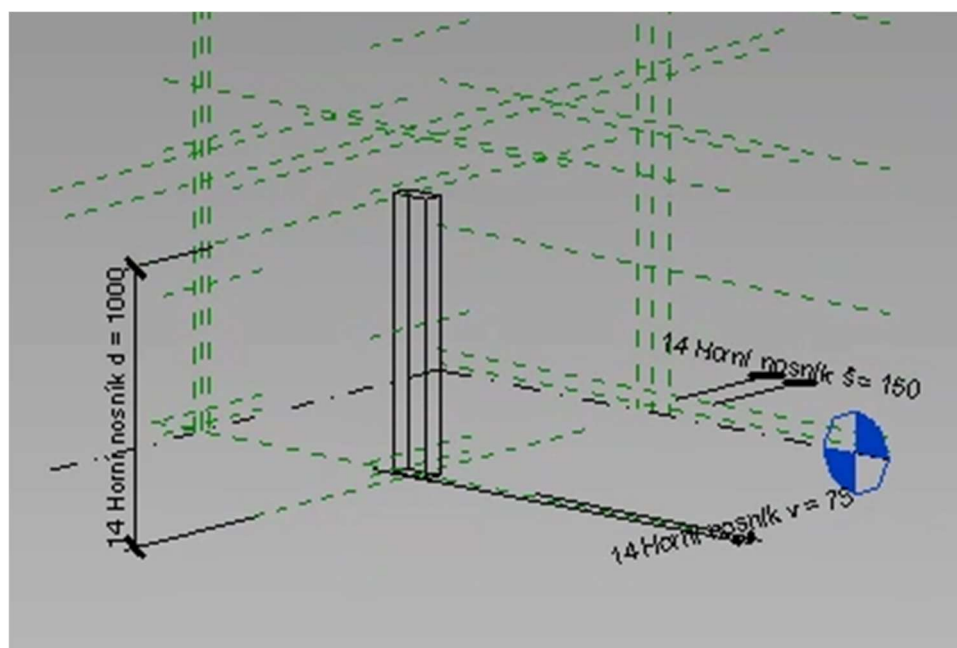
 Příloha č. 16 - Střední rozpěra (S3) 4 ks.rfa



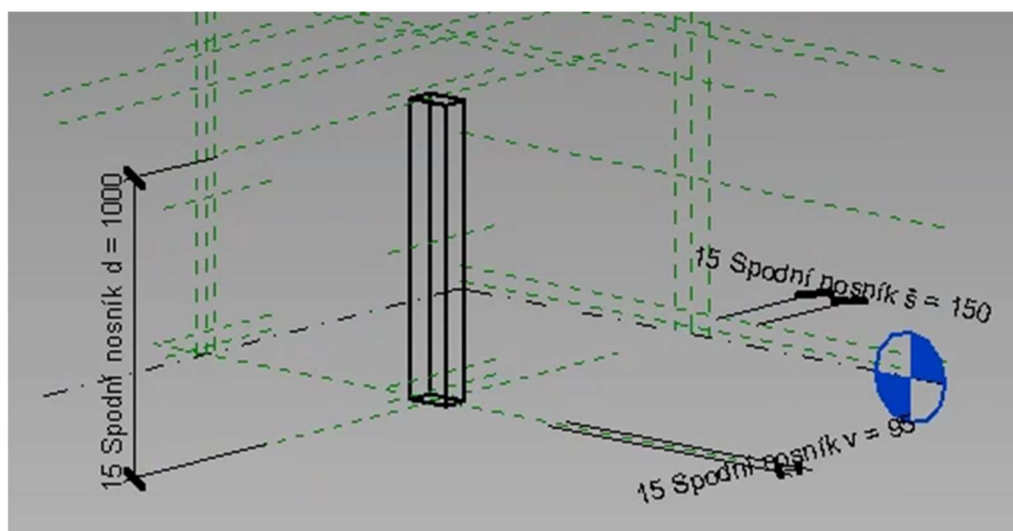
Obr. 65 S3 [vlastní]



Obr. 66 Vzpěra [vlastní]



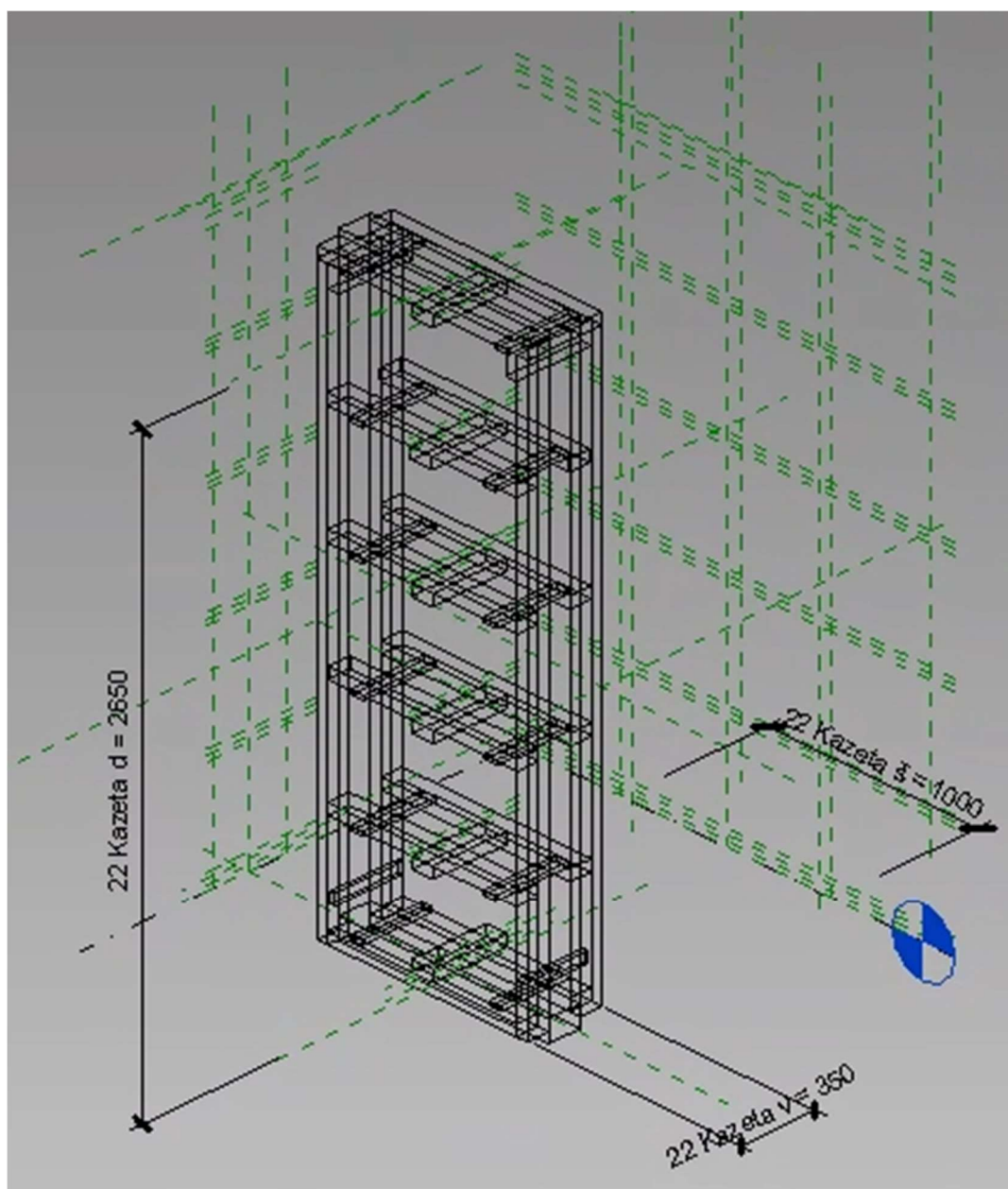
Obr. 67 Horní nosník [vlastní]



Obr. 68 Spodní nosník [vlastní]

5.5.14 Eko Panel 2650.1000.350- dřevěná kazeta

Výsledná sestava rodin prvků.



Obr. 69 Eko Panel – dřevěná kazeta [vlastní]

5.6 IFC a Revit rodina

IFC je jediný otevřený datový formát, který využívá metodika BIM. Je určen pro import a export z jedné aplikace do druhé. Z logiky architektury Revitu vyplývá, že export souboru určenému pro editaci rodin není možný. Rodina se do IFC exportovat nedá, není to kompatibilní. Z pohledu Revitu je IFC export modelu.

IFC je jediný otevřený standard pro ukládání modelů. Obecně platí že Revit je na export do formátu IFC dost špatný. Je za potřebí použít různé pluginy. To znamená správný postup rfa -> rvt -> ifc.

V práci byly přílohy ponechány ve formátu rfa, protože se jedná o soubory rodin. Jde o představení tvorby rodin, nikoliv o export rodiny z modelu do IFC.

Do IFC je případně potřeba exportovat v datovém standardu dle ČAS, který ještě není veřejně dostupný.

6 Optimalizace Eko Panelu – spojení elementů

V důsledku vize zřízení automatizované výroby je představeno možné řešení zmapování poloh bodů pro šroubování vrtů robotickým ramenem.

6.1 Vrutý

Jak již bylo definováno v kapitole 4. Vrutů jsou pouze dva typy:

- 4 x 40

Na výrobu jednoho Eko Panelu 2650.100.350 je použito vrtů 4 x 40 celkem 56 kusů.

Z pohledu digitálního modelu každé místo, kde se má našroubovat vrt tvoří bod v prostoru dle kartézské souřadnice x, y, z .

- 5 x 80

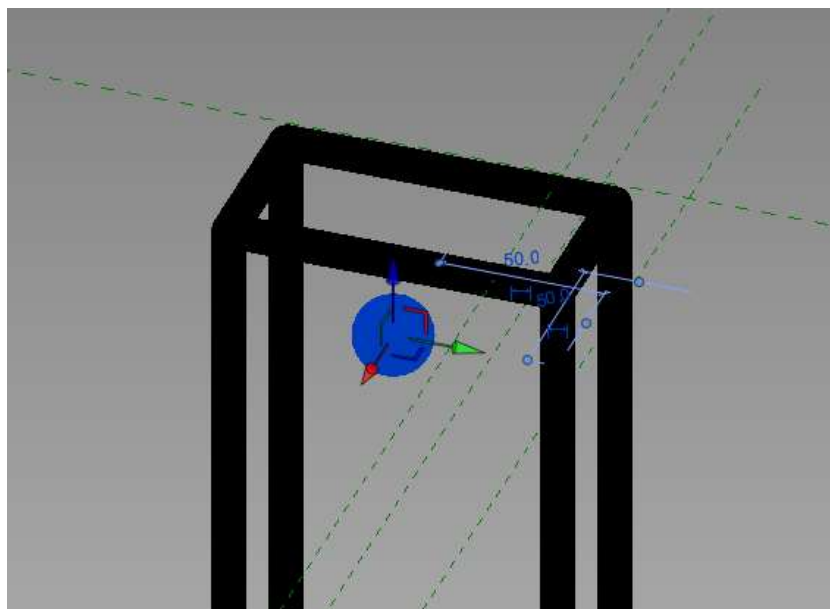
Na výrobu jednoho Eko Panelu 2650.100.350 je použito vrtů 5 x 80 celkem 132 kusů.

6.2 Souřadnice bodu pro vruty



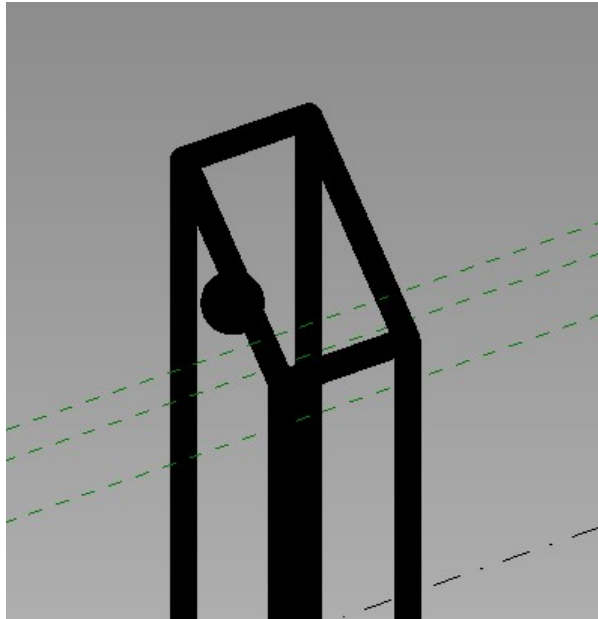
Obr. 70 Body pro umístění vrutů [vlastní]

Na příkladu prvku 1 Příčka 2600 x 100 x 50 mm 4 ks je demonstrováno jedno potenciálně možné řešení umístění bodů pro uložení informace o pozici v rodině objektu.



Obr. 71 Body pro umístění vrutů 1 [vlastní]

Bod se nachází na ploše prvku. Každý bod zná svou polohu vůči hranám objektu rodiny.



Obr. 72 Body pro umístění vrutů 2 [vlastní]

Pozice vstupu pro vrut by tak mohly být dány souřadnicemi (x, y, z) , bod v prostoru a směr směr šroubování by mohl být určen hodnotou. $(x, -x, y, -y, z, -z)$.

7 Závěr

- Shrnutí dosažených poznatků:

V úvodu diplomové práce byl představen vstup do problematiky přírodního stavitelství s ohledem na vliv uhlíkové stopy. Byla představena sláma jako stavební materiál z pohledu výhod a nevýhod její vlastností. Hovořilo se o možnosti využití dřeva pro stěny eko panelu a typech omítky pro interiér a exteriér. V kapitole 2.1.4. se vyskytují informace o důležitosti větrání horní stavby, kdy byly podtrženy informace o vlhkosti jako hlavním nepříteli slámy. Správně navržené a realizované větrání umožňuje delší dobu životnosti. Aspekt oddělení stavby od možnosti vzlínání vlhkosti z půdy je zásadní. Výstupy práce slouží především jako základní vhled do problematiky výstavby eko domů ze slaměných panelů. Kdy nejzásadnější kapitolou byla kapitola 4. a kapitola 5. V průběhu práce bylo zjištěno, jak rozsáhlé takové téma může být a některé kapitoly musely být upraveny či zkráceny. Na tuto práci lze navázat ve více rovinách. Jak již bylo zmíněno téma má podstatně širší záběr možnosti využití, který se dá využít v navazující práci s objekty vytvořenými v editoru rodin. Lze předpokládat rozpracování kapitoly 5.5 Aplikace v Revitu, pro zavedení všech prvků Eko Panelu, a to včetně omítky a příružných elementů. Další možností návaznosti může být rozpracování pro účely digitalizace výroby, kdy by bylo potřeba zapracovat potenciální kapitoly jako výrobní linka či aplikace pro koncové zákazníky s ohledem na složení typu domů a cenovou nabídku. Kapitola 6 má veliký potenciál pro návaznost na aplikaci pro automatizovanou montáž, vyžaduje ale zásadní rozpracování a ověření simulacemi a zavedení algoritmů specialisty oboru robotiky a informačních technologií.

- **Ověření dosažených cílů:**

Na začátku této práce byly stanoveny cíle formou klíčových bodů:

1) Je sláma vhodný stavební materiál?

Ano je za předpokladu dostatečného stlačení a vyhnutí se vlhkosti nad 20 %. Efektivnější aplikací je sláma v prefa eko panelech z důvodu rychlejší výstavby a snažší manipulace při výstavbě. Prefa panely jsou modulární a mají potenciál pro využití typu s TZB instalacemi již při výrobě mimo staveniště. Za předpokladu správného navržení umístění s implementovanou myšlenkou následného napojení při výstavbě.

2) Jak byla a je využívána sláma ve světě a u nás?

Sláma se nevyužívá ve velké míře. Většinou se jedná o aplikaci výstavby formou slaměných balíků nikoliv formou eko panelů. Většinou se jedná o stavby o dvou nadzemních podlažích pro účely výstavby rodiných domů.

3) Zmapování ceny Eko Panelu 2650.1000.350.

Cena byla stanovena a panel jako stavební prvek je konkurence schopný. Cena se skládá ze zmapování všech dílčích částí, které jí tvoří. Jako je cena za surový materiál, spotřební prvky, elektřinu a práci.

4) Je Revit vhodný pro tvorbu digitálního Eko Panelu 2650.1000.350?

Bylo úspěšně ověřeno formou tvorby rodin objektů prvků a subprvků dřevěné kazety panelu. Softwar Revit je vhodným nástrojem pro takové využití.

- Diskuze:

Práce se nezaměřuje na detailní rozvinutí kapitol, zamerňuje se na základní vhled do problematiky a stanovila si za cíl hlavně ověření výzkumných otázek.

- Kritické zhodnocení práce:

Kapitola 2. a kapitola 3. jsou obsahově na podobné kvalitativní úrovni. Velkým přínosem je kapitola 4 z pohledu zmapování důležitých dat pro Eko Panel 2650.1000.350. Stěžejní kapitolou práce je kapitola 5. Kde bylo základním cílem vytvoření rodiny pro dřevěnou kazetu Eko Panelu 2650.1000.350. Stanovený záměr se podařilo úspěšně ověřit. Na detailní zavedení zbývajících elementů bloku nezbyl prostor.

8 Seznam použité literatury

1. Kensek, Karen M.; Noble, Douglas (2014): Building information modeling. BIM in current and future practice / Karen M. Kensek, LEED BD+C, Assoc. AIA, Douglas Noble, FAIA, PhD, [editors]; foreword by Chuck Eastman. Hoboken, New Jersey: Wiley.
2. Eastman, Charles M. (2011): BIM handbook. A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors / Chuck Eastman ... [et al.]. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley.
3. Minke, Gernot; Mahlke, Friedemann (2009): Stavby ze slámy. Jak pořídit z balíků slámy standardní dům. 1. české vyd. Ostrava: HEL.
4. Jones, Barbara (2015): Building with straw bales. A practical manual for self-builders and architects / Barbara Jones. Revised and expanded third edition. Cambridge: Green Books.
5. Márton, Jan (2014): Stavby ze slaměných balíků. Slaměné izolace v nízkoenergetických a pasivních domech, návrh staveb šetrných k životnímu prostředí, hliněné omítky, ozeleněné střechy. 2., dopl. a aktualiz. vyd. Liberec: J. Márton.
6. Conran, Terence (2009): Eco house book. London: Conran Octopus.
7. Růžička, Martin (2006): Stavíme dům ze dřeva. 1. vyd. Praha: Grada (Profí & hobby, sv. 118).
8. Rainbow Ecosystem — Innovative solutions for eco construction. *Rainbow Ecosystem — Innovative solutions for eco construction* [online]. Copyright © 2020. All rights reserved [cit. 30.10.2020]. Dostupné z: <https://rainbowecosystem.com/>
9. HOME | Mattered. *HOME | Mattered* [online]. Dostupné z: <https://www.matteredgroup.com/>
10. Marcus Kim, Lance Kirby, Eddy Krygiel (2016): Mastering Autodesk. Revit 2017 for Architecture.
11. Elise Moss (2017): Autodesk Revit 2018. Architecture Basics. From the Ground Up.
12. Slamák.info | Slaměné domy a stavby ze slámy. *Slamák.info | Slaměné domy a stavby ze slámy* [online]. Dostupné z: <https://www.slamak.info/>
13. Bio-dům. *Bio-dům* [online]. Dostupné z: <https://www.bio-dum.cz/>
14. Ekopanely – stavební systém od příčky po celý dům. *Ekopanely – stavební systém od příčky po celý dům* [online]. Copyright ©2016 EKOPANELY SERVIS s.r.o. [cit. 01.01.2021]. Dostupné z: <https://www.ekopanely.cz/>
15. Build a Sustainable Future | EcoCocon. Build a Sustainable Future | EcoCocon [online]. Dostupné z: <https://ecococon.eu/>

16. ESBA | European Straw Building Association. *ESBA | European Straw Building Association* [online]. Copyright © ESBA [cit. 01.01.2021]. Dostupné z: <https://strawbuilding.eu/>
17. Autodesk University – Paul F. Aubin. Home Page – Paul F. Aubin [online]. Copyright © 2002 [cit. 01.01.2021]. Dostupné z: <https://paulaubin.com/conferences/autodesk-university/>

9 Seznam obrázků

- Obr. 1 Podíl CO₂ na produkci – vlastní s využitím [4]
- Obr. 2 Model kazety s plnivem [vlastní]
- Obr. 3 Základy a větrání 1 [vlastní]
- Obr. 4 Základy a větrání 2 [vlastní]
- Obr. 5 Základy a větrání 3 [vlastní]
- Obr. 6 Základy a větrání 4 [vlastní]
- Obr. 7 Slaměné domy ve světě [vlastní]
- Obr. 8 Slaměné domy v ČR [vlastní]
- Obr. 9 Panel – náklady na materiál [vlastní]
- Obr. 10 Panel – náklady na materiál – ostatní [vlastní]
- Obr. 11 Panel – náklady na materiál – surové [vlastní]
- Obr. 12 Panel – náklady na spotřební prvky [vlastní]
- Obr. 13 Panel – náklady na elektřinu [vlastní]
- Obr. 14 Panel – náklady na práci [vlastní]
- Obr. 15 Celková cena za eko panel [vlastní]
- Obr. 16 Eko panel [9]
- Obr. 17 Eko panel – vlastnosti [8]
- Obr. 18 Eko panel – výrobní dokumentace [vlastní]
- Obr. 19 Stěna panelu [vlastní]
- Obr. 20 Rozměry [vlastní]
- Obr. 21 Spodní koncová rozpěra (S1) [vlastní]
- Obr. 22 Rozměry [vlastní]
- Obr. 23 Horní koncová rozpěra (S2) [vlastní]
- Obr. 24 Rozměry [vlastní]
- Obr. 25 Střední rozpěra (S3) [vlastní]
- Obr. 26 Rozměry [vlastní]
- Obr. 27 Vzpěra [vlastní]
- Obr. 28 Rozměry [vlastní]
- Obr. 29 Horní nosník [vlastní]
- Obr. 30 Horní nosník 1 [vlastní]
- Obr. 31 Rozměry [vlastní]

Obr. 32 Spodní nosník [vlastní]
Obr. 33 Rozměry [vlastní]
Obr. 34 Spodní nosník 1 [vlastní]
Obr. 34 Spodní nosník 1 [vlastní]
Obr. 35 Parametry 1 [vlastní]
Obr. 36 Parametry 2 [vlastní]
Obr. 37 Šablona [vlastní]
Obr. 38 Střed rovin - uzamčení [vlastní]
Obr. 39 Omezení [vlastní]
Obr. 40 Pohledy [vlastní]
Obr. 41 Definice počtu souborů [vlastní]
Obr. 42 Typy rovin – editace parametrů [vlastní]
Obr. 43 Editace parametrů [vlastní]
Obr. 44 Nový parametr [vlastní]
Obr. 45 Vlastnosti parametrů [vlastní]
Obr. 46 Implementace parametrů [vlastní]
Obr. 47 Referenční roviny [vlastní]
Obr. 48 Referenční roviny 1 [vlastní]
Obr. 49 Referenční roviny 2 [vlastní]
Obr. 50 Referenční roviny 3 [vlastní]
Obr. 51 Geometrie 1 [vlastní]
Obr. 52 Geometrie 2 [vlastní]
Obr. 53 Geometrie 3 [vlastní]
Obr. 54 Načtení komponenty [vlastní]
Obr. 55 Načtení komponenty – průzkumník [vlastní]
Obr. 56 Načtené komponenty [vlastní]
Obr. 57 Rovina umístění [vlastní]
Obr. 58 Pohled [vlastní]
Obr. 59 3D pohled [vlastní]
Obr. 60 Pohled 1 [vlastní]
Obr. 61 Pohled 2 [vlastní]
Obr. 62 Stěny panelu [vlastní]
Obr. 63 S1 [vlastní]

- Obr. 64 S2 [vlastní]
- Obr. 65 S3 [vlastní]
- Obr. 66 Vzpěra [vlastní]
- Obr. 67 Horní nosník [vlastní]
- Obr. 68 Spodní nosník [vlastní]
- Obr. 69 Eko Panel – dřevěná kazeta [vlastní]
- Obr. 70 Body pro umístění vrutů [vlastní]
- Obr. 71 Body pro umístění vrutů 1 [vlastní]
- Obr. 72 Body pro umístění vrutů 2 [vlastní]

10 Přílohy

- Příloha č. 1–1 Příčka 2600 x 100 x 50 mm 4 ks.rfa
- Příloha č. 2–2 Malý sloupek 320 x 50 x 20 mm 2 ks.rfa
- Příloha č. 3–3 Velký sloupek 350 x 100 x 50 mm 3 ks.rfa
- Příloha č. 4 – Stěna panelu vnější rozměry 2700 x 350 mm 2 ks (levá a pravá).rfa
- Příloha č. 5–4 Příčka 900 x 100 x 50 mm 2 ks.rfa
- Příloha č. 6–5 Velký sloupek 350 x 100 x 50 1 ks.rfa
- Příloha č. 7–6 Malý sloupek 330 x 50 x 20 2 ks.rfa
- Příloha č. 8 – Spodní koncová rozpěra (S1) 1 ks.rfa
- Příloha č. 9–7 Příčka 1000 x 100 x 50 2 ks.rfa
- Příloha č. 10–8 Velký sloupek 350 x 100 x 50 mm 1 ks.rfa
- Příloha č. 11–9 Malý sloupek 340 x 60 x 20 2 ks.rfa
- Příloha č. 12 – Horní koncová rozpěra (S2) 1 ks.rfa
- Příloha č. 13–10 Příčka 900 x 100 x 50 4 ks.rfa
- Příloha č. 14–11 Velký sloupek 350 x 100 x 50 mm 8 ks.rfa
- Příloha č. 15–12 Malý sloupek 340 x 60 x 20 8 ks.rfa
- Příloha č. 16 – Střední rozpěra (S3) 4 ks.rfa
- Příloha č. 17–13 Vzpěra 598 x 50 x 50 (524) 4 ks.rfa
- Příloha č. 18–14 Horní nosník 1000 x 150 x 75 mm 1 ks.rfa
- Příloha č. 19–15 Spodní nosník 1000 x 150 x 95 mm 1 ks.rfa
- Příloha č. 20 – Eko Panel 2700 x 1000 x 350.rfa
- Příloha č. 21- Prvky a subprvky Eko Panel 2700 x 1000 x 350.dwg
- Příloha č. 22 - Seznam parametrů dimenzí pro revit