



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ

INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

POKROČILÉ TECHNOLOGIE VE STAVEBNICTVÍ

ADVANCED TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION INDUSTRY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Patrik Janás

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR AIGEL, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T038 Management stavebnictví
Pracoviště	Ústav stavební ekonomiky a řízení

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Patrik Janás
Název	Pokročilé technologie ve stavebnictví
Vedoucí práce	Ing. Petr Aigel, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Odborné publikace odpovídající tématu práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je analýza možností v oblasti pokročilých technologií ve stavebnictví

1. Definování základních pojmů
2. Vybrané technologie
3. Ukázka užití těchto technologií
4. Analýza a možnosti dalších využití těchto technologií

Výstupem práce je analýza možností v oblasti pokročilých technologií ve stavebnictví

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Petr Aigel, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce *Pokročilé technologie ve stavebnictví* je provést analýzu možností v oblasti pokročilých technologií ve stavebnictví. Teoretická část je zaměřena převážně na moderní systémové bednění z kompozitního materiálu, dále také na technologii aditivní výroby a technologii virtualizace. V praktické části je simulován návrh bednění na projektu rodinném domu. Návrh je zpracován jednak na inovativní kompozitní bednění, tak na bednicí systém, který je v současné době nejčastěji využíván. Práce je zaměřena na analyzování rozdílných nákladů a efektivnost nasazeného bednění.

KLÍČOVÁ SLOVA

pokročilá technologie, obrátkový materiál, kompozitní bednění, ocelové bednění, pronájem bednění, aditivní výroba, virtualizace

ABSTRACT

The main goal of the diploma thesis *Advanced technology in construction industry* is to create analysis of possibilities in the area of advanced technologies in the construction industry. Theoretical part is focused mainly on modern system formwork from composite material, on the technology of additive production and technology virtualization. In the practical part there is formwork for the family house designed. The design is made for innovative composite formwork and also for the formwork usually used in construction industry. The thesis is focused on analysis of different costs and effectiveness of used formwork.

KEYWORDS

advanced technology, revolving material, composite formwork, steel formwork, rent formwork, additive production, virtualization

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Patrik Janás *Pokročilé technologie ve stavebnictví*. Brno, 2019. 79 s., 5 s. příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební ekonomiky a řízení. Vedoucí práce Ing. Petr Aigel, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Pokročilé technologie ve stavebnictví* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 7. 1. 2019

Bc. Patrik Janás

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Pokročilé technologie ve stavebnictví* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7. 1. 2019

Bc. Patrik Janás

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svým rodičům za plnou podporu během celého studia. Poděkování také patří vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Petru Aigelovi, Ph.D. za profesionální přístup, rady a připomínky k mé práci.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	ADITIVNÍ VÝROBA.....	11
2.1	TECHNOLOGIE 3D TISKU.....	11
2.1.1	<i>Selective laser sintering (SLS)</i>	12
2.1.2	<i>Direct metal laser sintering (DMLS)</i>	12
2.1.3	<i>Selective heat sintering (SHS)</i>	13
2.1.4	<i>Binder jetting (BJ)</i>	14
2.1.5	<i>Multijetprinting (MJP)</i>	14
2.1.6	<i>Fused deposition modeling (FDM)</i>	15
2.1.7	<i>Stereolitografie (SLA)</i>	16
2.1.8	<i>Laminated object manufacturing (LOM)</i>	17
2.2	TECHNOLOGIE 3D TISKU VE STAVEBNICTVÍ	18
2.2.1	<i>Proces 3D tisku budov</i>	21
2.2.2	<i>Příklady použití</i>	22
3	VIRTUALIZACE.....	26
3.1	VIRTUALIZACE VE STAVEBNICTVÍ	27
4	BEDNĚNÍ.....	31
4.1	PRONÁJEM BEDNĚNÍ	33
4.2	KLASICKÉ SYSTÉMOVÉ BEDNĚNÍ	34
4.2.1	<i>Materiál pro výrobu bednění</i>	34
4.2.2	<i>Proces bednění</i>	36
4.3	KOMPOZITNÍ BEDNĚNÍ Z TECHNOPOLYMERU	39
4.3.1	<i>Materiál pro výrobu bednění</i>	39
4.3.2	<i>Vývoj cen ABS – Akrylonitrilbutadienstyrenu</i>	41
4.3.3	<i>Koncepce bednění</i>	41
4.3.4	<i>Proces bednění</i>	42
4.3.5	<i>Bednicí plášť</i>	46
4.3.6	<i>Zásady užívání</i>	47
4.3.7	<i>Udržitelnost</i>	47
4.4	BEZPEČNOST A OCHRANA ZDRAVÍ PŘI PRÁCI	48
5	PRAKTICKÁ ČÁST.....	50
5.1	PRONÁJEM BEDNĚNÍ	50
5.2	DOPRAVA BEDNĚNÍ.....	55
5.2.1	<i>Mimostaveništní doprava</i>	55
5.2.2	<i>Vnitrostaveništní doprava</i>	56
5.3	SWOT ANALÝZA	58

5.3.1	<i>Silné stránky</i>	59
5.3.2	<i>Slabé stránky</i>	60
5.3.3	<i>Příležitosti</i>	60
5.3.4	<i>Hrozby</i>	60
6	VYHODNOCENÍ	61
6.1	NÁKLADY NA PRONÁJEM	61
6.2	PLOCHA BEDNĚNÍ	61
6.3	NÁKLADY NA DOPRAVU	62
6.4	BEZPEČNOST PRÁCE.....	63
6.5	MOŽNOSTI VYUŽITÍ.....	64
6.6	OPRAVA POŠKOZENÉHO BEDNĚNÍ.....	65
6.7	UDRŽITELNOST	66
7	ZÁVĚR	67

1 ÚVOD

Technologie se dostala do všech aspektů našeho života, ať už se jedná o rovinu osobní či profesní. Konkrétně stavebnictví přichází neustále s novými inovativními způsoby. Existují některé konstrukční technologické trendy, které připravují cestu pro určité futuristické konstrukční technologie. Využití pokročilé stavební technologie v praxi může zvýšit jednak úroveň kvality, účinnosti, bezpečnosti, tak i v současné době nejdůležitější udržitelnosti.

Cílem práce je analyzovat možné využití jednotlivých pokročilých technologií ve stavebnictví. Pokročilou technologií, jindy také high-tech, rozumíme technologii nejmodernější dostupnou. Vybrané inovativní technologie budou posuzovány z hlediska celkové výhodnosti.

Teoretická část bude zaměřena jednak na technologii aditivní výroby, tak na využití další moderní techniky ve stavebnictví. Největší část bude však věnována modernímu systémovému bednění z kompozitního materiálu.

V praktické části bude analyzováno moderní systémové bednění z inovativního kompozitního materiálu. Aby bylo možné poukázat na efektivnost této moderní technologie, bude provedena simulace návrhu bednění na projektu rodinného domu, kde výkres bednění bude vytvořen jednak s využitím novodobého kompozitního bednění, tak s využitím klasického systémového bednění, které je v současnosti nejčastěji využíváno. Pozornost bude věnována převážně rozdílným nákladům související pořízení nebo pronájmem jednotlivých prvků bednění, nákladům na dopravu a v neposlední řadě také udržitelnosti a recyklovatelnosti materiálů. Ke zhodnocení vnitřních a vnějších faktorů ovlivňujících úspěšnost produktu, bude zpracována na toto moderní bednění také strategická SWOT analýza.

2 ADITIVNÍ VÝROBA

Technologie aditivní výroby zažívá v posledních letech obrovský růst, právě proto, že je naprosto odlišná od klasických konvenčních výrobních metod. Aditivní výrobu si můžeme představit jako vznik nového výrobku takřka z ničeho. Model při metodě 3D tisku vzniká po jednotlivých vrstvách. Základ pro vytvoření takového modelu je tvořen v programech jako jsou například Inventor, Solid Edge, 3Dcrafter, ScetchUP, 123D Design, Fusion 360 a další. Pomocí těchto programů bude vytvořen potřebný model v souborovém formátu STL. Tento soubor je poté potřeba upravit pro 3D tisk. To spočívá v rozložení modelu do jednotlivých vrstev, které se budou následně tisknout na pracovní plochu. [1]

Proces vzniku hotového výrobku touto technologií se dá shrnout do 8 kroků:

1. Vytvoření virtuálního modelu a povrchu objektu
2. Konverze do STL formátu
3. Transfer souboru do výrobního zařízení
4. Nastavení přístroje individuálně na výrobek (materiál, energie)
5. Výroba, stavba
6. Vyjmutí výrobku
7. Postprodukce (finální úprava)
8. Použití výrobku [2, 3]

2.1 Technologie 3D tisku

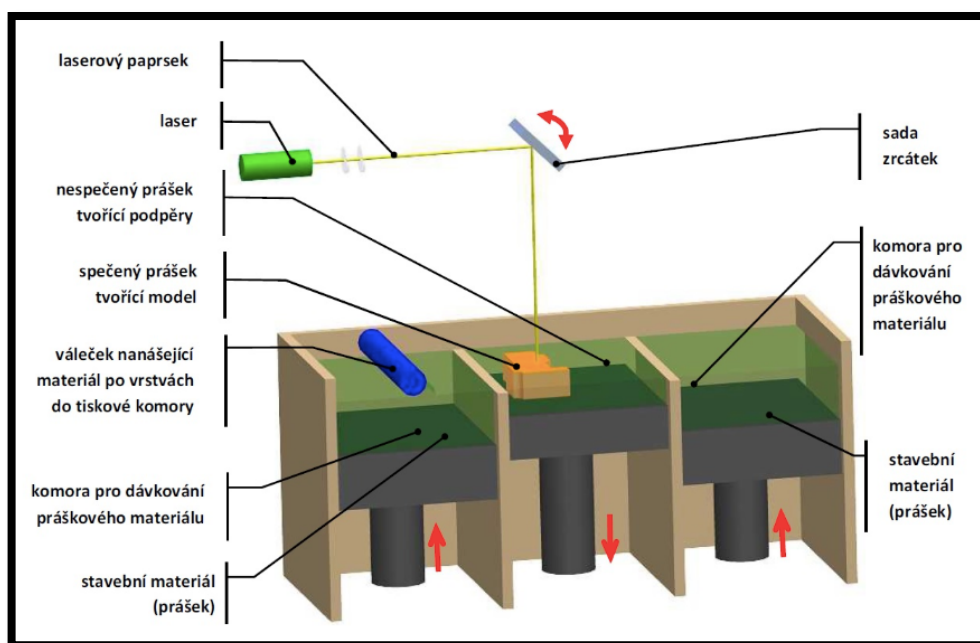
Aditivní technologie v zásadě využívá čtyř základních principů, kdy je primární dělení určeno způsobem zpracování vybraného materiálu. Materiál je buď vytlačován tiskovou hlavou (FFF, FDF), nebo je materiál pojen pomocí lepidla nebo laseru. Další princip funguje na vytvrzování tekutého materiálu pomocí světelného paprsku (např. SLA). V současné době nejméně používaná technologie LOM zahrnuje princip oddělování materiálu v každé vrstvě. [15]

2.1.1 Selective laser sintering (SLS)

Tato technologie využívá k výrobě práškový materiál, který je zapékán pomocí vyvinutého laserového paprsku. V procesu je nejprve nanесena tenká vrstva materiálu ve formě prášku, která se vlivem paprsku laseru taví, čímž vzniká jedna z mnoha vrstev produktu. Hotovou vrstvu pokryje další vrstva a celý proces se opakuje. Výhodou je nízká pořizovací cena materiálu. Nevýhodou je nedokonalý povrch výrobku a dále také velké náklady na pořízení stroje. Pořizovací cena tiskárny je zhruba 5 milionů korun.

2.1.2 Direct metal laser sintering (DMLS)

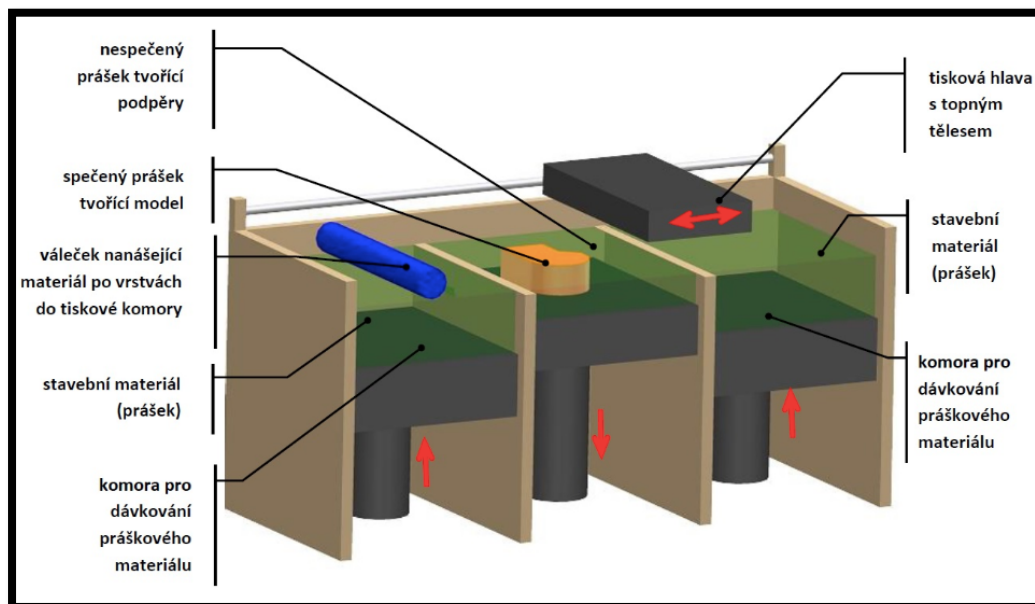
Tento druh je založen na tisku kovových modelů, které se mohou dále obrábět a zpracovávat. Práškový materiál je obdobně jako u metody SLS zpevňován pomocí laserového paprsku, avšak k natavení kovového prášku je potřeba podstatně vyšších teplot. Při procesu se využívá ochranné atmosféry plynu argon. Materiál je v tomto případě kov, nerezová ocel, titan, bronz nebo inconel, který je hojně využíván v letectví díky své žáruvzdornosti. Výhodou je velice kvalitní povrch s vysokým rozlišením, dále je možné touto technologií vyrobit i složité tvary bez použití podpor. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena tiskárny, cca 10 milionů korun. [1]



Obrázek 1 - Schéma tiskárny SLS, DMLS [1]

2.1.3 Selective heat sintering (SHS)

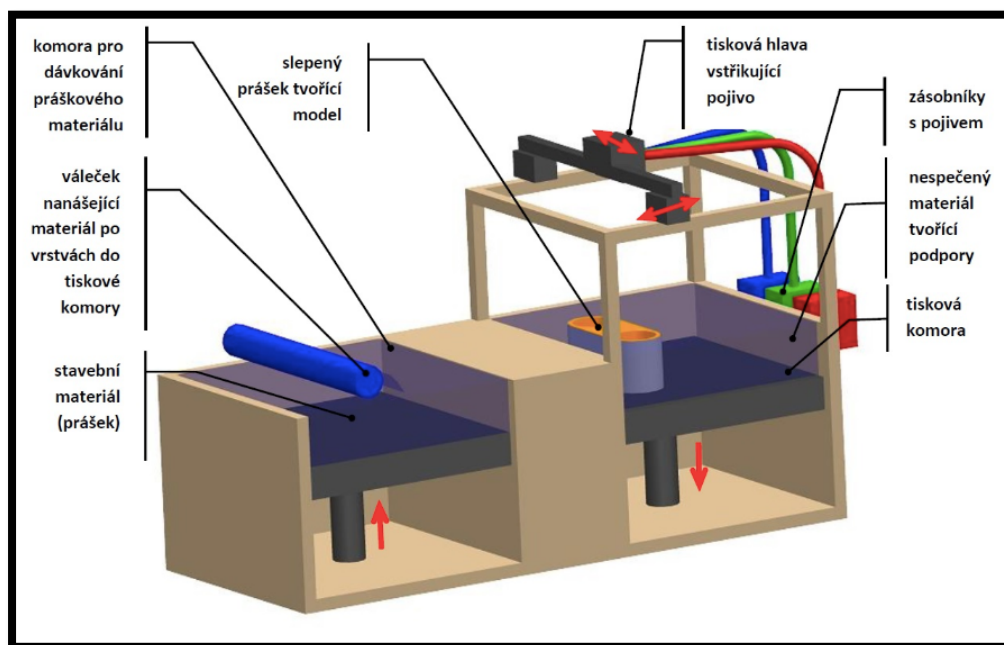
Proces tisku probíhá tak, že prášek je nanesen v tenké vrstvě na pracovní plochu. Namísto laseru využívá technologie SHS topné těleso. Když je vrstva vytvrzena, stůl s modelem se posune o velikost vrstvy dolů a proces se opakuje. Při této technologii je možné využít široké spektrum materiálů jako je ABS, PLA, PET, NYLON a další. Výhodou je nízká pořizovací cena tiskárny, která je zhruba 300 tisíc korun. Dále je také možné nepoužitý prášek znovu využít, neboť je 100% recyklovatelný. Nevýhodou je neúplnost produktu. Vytisknutý výrobek se musí od přebytečného materiálu očistit stlačeným vzduchem. [1]



Obrázek 2 - Schéma tiskárny SHS [1]

2.1.4 Binder jetting (BJ)

Při této technologii dochází k vytvrzování materiálu chemicky, za pomoci pojiva. Na pracovní stůl se nejprve nanese tenká vrstva prášku. Pojivo je z tiskové hlavy vstřikováváno na tenké vrstvy materiálu. Výrobek je tak tvořen slepováním jednotlivých částic prášku. Při procesu je využíváno materiálu jako je například hliník, nerezová ocel nebo různé kompozitní materiály. Jako obrovská výhoda se jeví široký výběr materiálu použitých při realizaci. Dále rychlost tisku nebo jeho barevnost. Nevýhodou je fakt, že u hotového výrobku je nutná úprava povrchu z důvodu zlepšení mechanických vlastností. Tiskárna stojí přibližně 6 milionů Kč. [1]

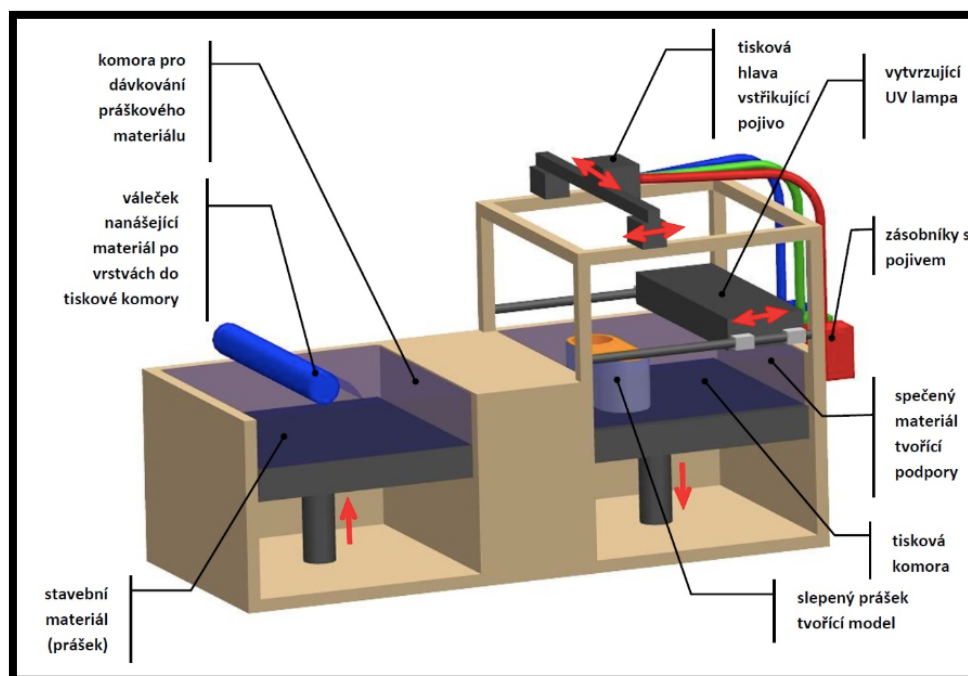


Obrázek 3 - Schéma tiskárny BJ [1]

2.1.5 Multijetprinting (MJP)

Tato technologie je schopna vytvořit různobarevný model, ale i model o několika různých tuhostech. Práškový materiál je při něm nanášen na stavební podložku. Podobně jako u BJ je na nanesenou vrstvu přiváděno pojivo. Práškový materiál společně s pojivem zatvrdne za pomoci UV světla. Když je vrstva vytvrzena, je nanášena další vrstva prášku a celý proces je opakován. Vytisknutý model je

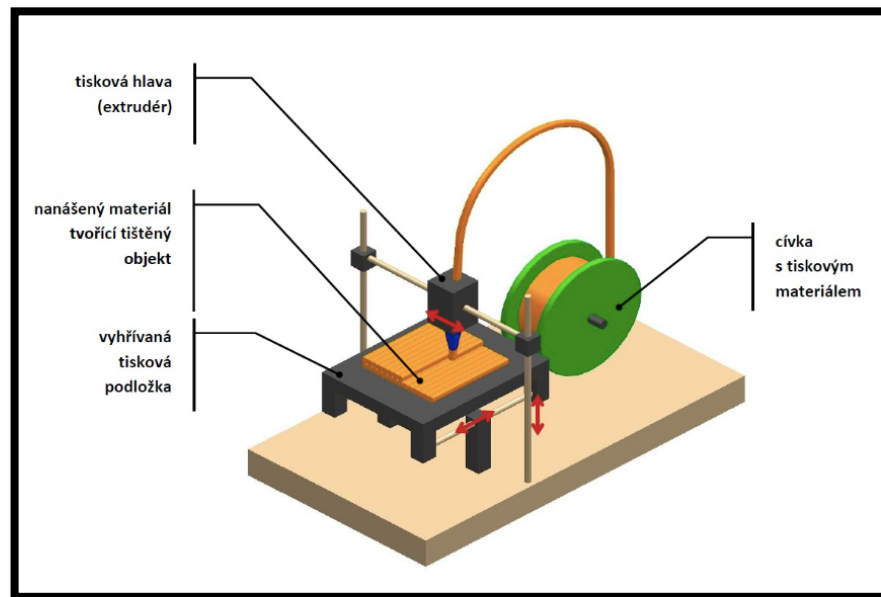
obalen v podpurném materiálu vosku. Při této technologii jsme poměrně schopni dosáhnout kvalitního a přesného povrchu i dobrých mechanických vlastností. Pořizovací cena tiskárny je 1,5 milionů korun. [1]



Obrázek 4 - Schéma tiskárny MJP [1]

2.1.6 Fused deposition modeling (FDM)

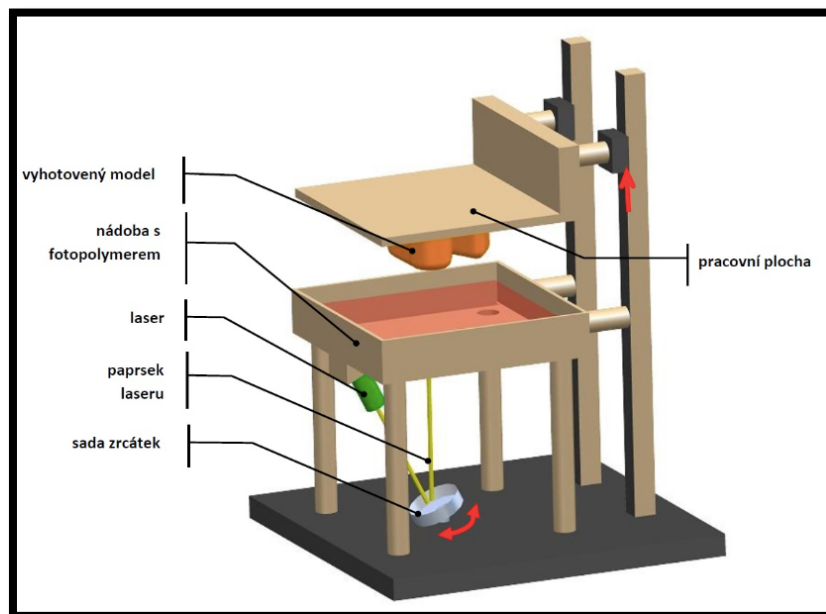
FDM je v současnosti nejrozšířenější technologií 3D tisku. Roztavený materiál je ve formě tenkého vlákna (filamentu) nanášen na pracovní plochu pomocí trysky. Nanášení probíhá po vrstvách. Při této technologii je možné využít široké spektrum materiálů jako je například PLA, ABS, PC, PC-ABS, PET, XT, ASA, FDM a další. Dále je možné využívat filamenty s příměsí bronz, uhlíkového vlákna nebo dokonce dřeva. Výhodou je minimální produkce odpadu, a vysoká pevnost výrobku. Nevýhodou je nutnost odstranění podpurného materiálu a nevzhledný povrch. [1]



Obrázek 5 - Schéma tiskárny FDM [1]

2.1.7 Stereolitografie (SLA)

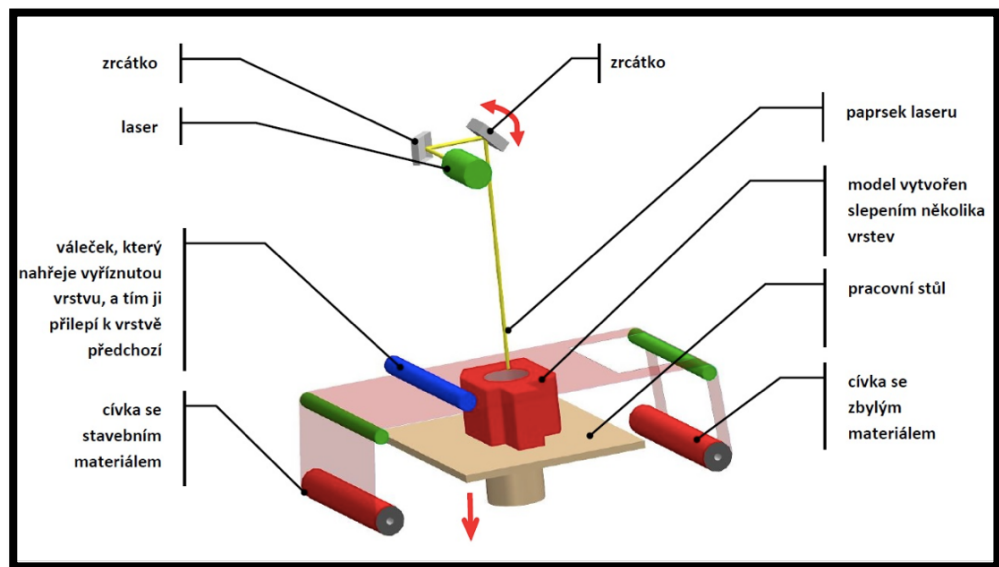
Stereolitografie je nejstarší technologií 3D tisku. V principu je pracovní plocha plně ponořena v nádobě s tekutým fotopolymerem, kde laser nebo UV záření postupně vytvrzuje vrstvu po vrstvě. Pracovní plocha se pohybuje směrem vzhůru, přičemž doslova vytahuje zhotovovaný model ven z nádoby. Výběr materiálu je při této technologii značně omezen. Jako materiál se při výrobě využívají fotopolymery, jako například fotopolymerická pryskyřice. Obrovskou výhodou je neuvěřitelná přesnost v řádu mikronů. Úskalí této technologie jsou nedostatečné pevnosti, kde výsledný výrobek se musí dotvrdit. [1]



Obrázek 6 - Schéma tiskárny SLA [1]

2.1.8 Laminated object manufacturing (LOM)

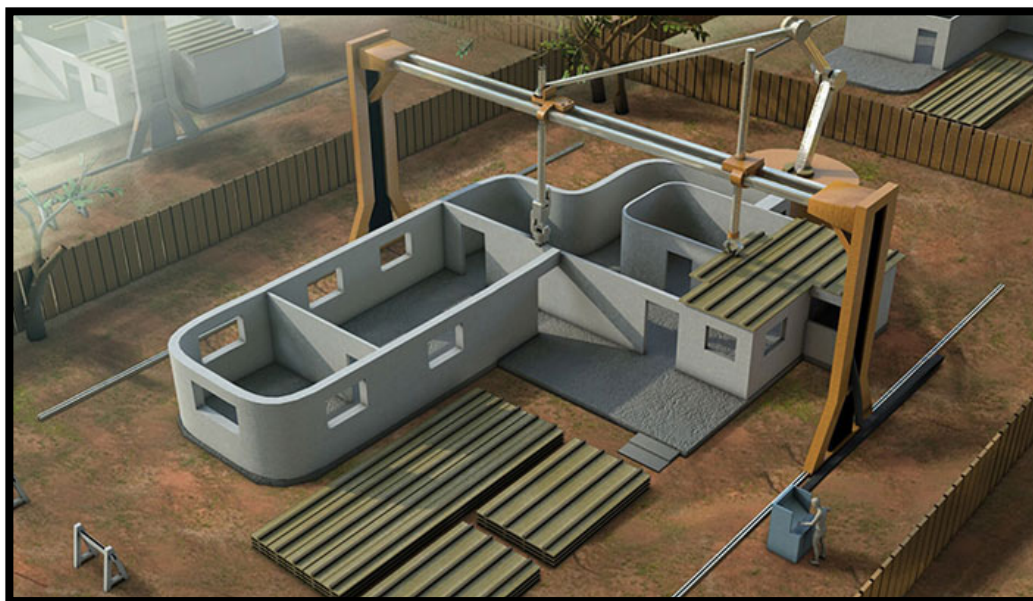
Každá vrstva je vyřezávána z plastu nebo z papíru a poté přilepena na plochu předchozí vrstvy, přičemž fólie s materiálem je přemotávána z jedné cívky na druhou. Při procesu se vyřízne právě jedna vrstva, a to buď nožem nebo laserovým paprskem. Takto vyříznutá vrstva je nalepena na předešlou vrstvu a celý proces je opakován. Využívaným materiálem při této technologii je například papír nebo plast. Výhodou je levný materiál pro výrobu a velice kvalitní výsledný povrch. Avšak při procesu je vysoká produkce odpadu. [1]



Obrázek 7 - Schéma tiskárny LOM [1]

2.2 Technologie 3D tisku ve stavebnictví

Technologie 3D tisku bude jistě v budoucnu představovat revoluci v oblastech architektonického návrhu budov. Inovativní metoda vstřikování totiž dokáže eliminovat překážky tradiční výstavby budov. Pro většinu architektů se jeví vytvoření budovy složitých tvarů jako jedna z největších výhod. Tento výrobní postup bude vyžadovat vývoj nových materiálů, které by měly být vyvíjeny s ohledem na jejich udržitelnost, kde tradiční stavební materiály budou nahrazeny materiály šetrnými k životnímu prostředí. Vývoj nových vláknitých materiálů by mohl v blízké budoucnosti zajistit i lepší vlastnosti materiálů, jako je například průhlednost, lepší tepelně izolační vlastnosti, vyšší pevnost nebo pružnost. [4]



Obrázek 8 - Vizualizace 3D tisku budovy [13]

Budova vystavěná pomocí metody 3D tisku nabízí ve srovnání s tradiční výstavbou budov mnoho významných výhod jako je například:

Ekologické:

Tištěné domy mohou být postaveny z ekologických materiálů. Některé tiskárny navíc využívají také solární energii a produkují nízké emise CO₂.

Sociální:

S pomocí 3D tiskáren je možné vytvářet cenově dostupné domy využívající suroviny přímo z místa realizace stavby, což se jeví jako velká výhoda při výstavbě domů v oblastech postižených chudobou.

Ekonomické:

Realizaci metodou vstřikování snižuje určité náklady na výstavbu. Pro představu, s využitím tiskárny Apis Cor house 3D jsou náklady na 1 m² stěny 27 dolarů, zatímco při

využití tradičních konstrukčních metod
přibližně 75 dolarů.

Efektivní:

Materiály potřebné k 3D tisku budovy jsou
vytištěny konkrétně na projekt, čímž se
minimalizuje produkce odpadu. Navíc je
možné tento stavení materiál poměrně šetrně
recyklovat.

Bezpečnostní:

Eliminují se možnosti vzniku jednotlivých
rizik ohrožení života a zdraví pracovníků
během přípravy i realizace.

Přestože metoda 3D tisku nabízí mnoho výhod, existují i jistá omezení jako jsou
například:

Vysoká počáteční investice: Jelikož se jedná o novou technologii, tiskárny
stojí v současné době i několik milionů korun.

Nedokončená stavba: Výstavba probíhá pouze rámcově. Proces tisku
je pozastaven, aby byly mohly být provedeny
veškeré rozvody a instalace. Je potřeba také
provést další dokončovací práce. [6]

Nedostatkem je i fakt, že u tištěných struktur nelze využít tradičních výpočtů
odolnosti a únosnosti, proto je jejich realizace časově náročná. Proto jsou nutná
léta pozorování a testů prováděných na nespočtu stavebních konstrukcí, aby bylo
možné na základě získaných výsledků vytvořit normály výpočtů těchto
konstrukcí. Výstavba metodou 3D tisku umožňuje vytvářet konstrukce podstatně
rychleji, čímž se stává ideálním nástrojem pro boj s krizí bydlení. Některé
stavební společnosti proto přeměňují svou činnost směrem k aditivní
výrobě. Firmy vyvíjejí tiskárny, které jsou rovněž schopny vytvářet domy
z místních surovin, navíc s využitím solární, vodní či větrné energie. To umožňuje
vystavovat domy i v regionech, které doposud nemají přístup k elektřině. [4]

2.2.1 Proces 3D tisku budov

V současnosti existuje celá řada firem, které využívají různých metod 3D tisku. Jedná se například o metodu vytlačování, při níž se využívá materiálu jako je beton, cement, vosk, pěna, polymery určité konzistence, který je vstřikován pomocí trysky. Pro tisk lze využít i různé metody práškového lepení, při které se využívá polymerních, reaktivních vazeb, dále slínování či svařování materiálu. [4, 6, 7, 8, 9, 13]

Jako nejefektivnější se jeví technologie Contour Crafting. Ta zahrnuje uložení stavební hmoty vrstvu po vrstvě pomocí ramene. Kolejnice jsou instalovány kolem půdorysu budovy, které slouží jako konstrukce pro řízení robotické ruky. Při této metodě se musí využít speciálního betonu, který má rychlý nárůst pevnosti, aby bylo možné tvořit tyto stavby v tak krátkém čase. Výztuž se při procesu 3D tisku nevyužívá. Ocel je nahrazena skleněnými vlákny, které jsou dokonale smíchány s betonovou směsí. [13]



Obrázek 9 - Metoda Contour Crafting [14]

Tabulka č 10 zobrazuje výběr deseti nejmodernějších tiskáren na trhu sloužících pro 3D tisk budov. Jsou seřazeny podle kategorie na domácí 3D tiskárny, prototypy nebo služby. [6]

Tabulka 1 - 10 nejmodernějších tiskáren na světě [6]

3D tiskárna	Kategorie	Stát	Materiál
BetAbram	Sériová 3D tiskárna	Slovinsko	Beton
Machines – 3D Contractor	Sériová 3D tiskárna	Francie	Beton, zemní materiály
COBOD BOD2	Sériová 3D tiskárna	Dánsko	Beton
MIT Digital Construction Platform	Prototyp	USA	Zemní materiály
Stroybot2	Prototyp	USA	Beton
V2 Vesta 3D	Prototyp	USA	Beton
WASP BigDelta	Prototyp	Itálie	Beton, zemní materiály
Apis Cor 3D	Služba	Rusko	Beton
Batiprint 3D	Služba	Francie	Polyuretan, Beton
DUS Architects XL 3D	Služba	Nizozemsko	Recyklát

2.2.2 Příklady použití

Canal House v Amsterdamu

Holandská společnost Dus Architects se rozhodla pro výstavbu rodinného domu v Amsterdamu metodou 3D tisku. Architekti chtějí stavbou poukázat na to, že vytištěním domu přímo na místě pomocí obří 3D tiskárny, dojde k eliminaci tvorby stavebního odpadu a minimalizaci nákladů na dopravu. Mobilita tiskárny je dle techniků považována za hlavní výhodu, protože může být přepravována libovolně po světě, a navíc bez skladování potřebného materiálu. Doba projektu byla pouze odhadovaná, aby investoři mohli nadále studovat technologii tisku a rozvoje použitých materiálu. Stavba je otevřena pro veřejnost, aby se využití této technologie lépe dostalo do podvědomí obyvatel. Proces začíná v softwaru na počítači, kde se vytvoří příslušný 3D model. Pro stavbu byl využit termoplastický materiál (konkrétně biologicky odbouratelný plast). Plast je

ohříván, dokud nedosáhne požadovaného tekutého stavu, poté je pomocí trysky tiskárny nanášen v jednotlivých vrstvách. [7]



Obrázek 10 - Canal House v Amsterodamu [17]

WinSun Company buildings

Firmě WinSun dokázala postavit největší budovu vytištěnou pomocí 3D tiskárny na světě. Jedná se o pěti podlažní bytovou jednotku. Tiskárna vyrábí součásti ve velkých kusech, které jsou následně zkompletovány a namontovány na místě včetně izolace. Předem vytvořený návrh v CAD systému je používán jako šablona pro ovládání ramene s tryskou. Jednotlivé stěny jsou vytvořeny jako duté, čímž je vytvořen prostor pro potřebnou izolaci. Dle firmy je možné snížit produkci odpadu až o 60 %, snížit náklady na mzdy až o 80 % a zkrátit dobu výstavby až 70 %. Cena budovy činí necelé 4 000 000 Kč. Díky možnosti využití recyklovatelných materiálů, tj. například bez použití lomového kamene a jiných materiálů, se jeví metoda 3D tisku jako šetrná k životnímu prostředí. [8]



Obrázek 11 – Největší vytištěná budova na světě [8]

Office of the Future

Budova se nachází ve čtvrti Dubai Emirates Towers a v současnosti slouží jako plně funkční kancelář. Výstavba základní budovy trvala celkem 17 dní, avšak vnitřní a dokončovací práce podstatně déle. Dle dubajské vlády náklady na pracovní sílu činili zhruba polovinu toho, co by bylo potřeba vynaložit na budovu podobného rozměru vystavené pomocí tradičních metod. Při realizaci bylo potřeba jednoho pracovníka monitorujícího činnost tiskárny, sedm lidí pro instalaci stavebních komponentů a deset odborníků pro realizaci rozvodů a instalací. [9]



Obrázek 12 – Budova Office of the Future v Dubaji [10]

The BOD – Building of Demand

BOD je malý kancelářský hotel o rozloze přibližně 50 m², který se nachází v kodaňském městě Nordhavn. Autoři chtěli na projektu interpretovat některé ekonomické a architektonické výhody použití 3D technologie. Při využití tradičních technik výstavby je jakýkoliv jiný tvar než přímý, výzvou, a to jak z hlediska technického, tak ekonomického. S výjimkou oken a dveří objekt neobsahuje žádné přímé stěny. [11]



Obrázek 13 - The BOD v Dánsku [12]

3 VIRTUALIZACE

Virtuální realita (VR) a vývoj virtuálních prostředí (VE) mohou mít významný vliv na to, jak jednotlivé zainteresované subjekty ve stavebních projektech mohou řídit a kontrolovat úspěšné dokončení těchto projektů. Technologie virtuální reality mají potenciál zvýšit účinnost a efektivitu všech fází projektu, od počátečního konceptuálního návrhu přes detailní návrh, plánování a přípravu až po dokončení stavby. Možnost přezkoumat návrh a zkoušet konstrukci ve virtuálním interaktivním 3D prostředí, může zvýšit pochopení záměru, zlepšit konstrukci projektu a minimalizovat změny projektu v průběhu realizace. V posledních několika letech probíhají různé snahy v průmyslu a v akademické sféře a přínosy virtuální reality ve výstavbě jsou blíže zkoumány. V současnosti existuje celá řada typů virtuálních realit. Jednotlivé typy se od sebe liší dimenzemi, aplikovaným hardwarem, grafikou, rendrováním, algoritmy, dále také úrovni zapojení uživatelů a v neposlední řadě také úrovní integrace se skutečným fyzickým světem. [16]

U virtuální reality rozlišujeme tři základní stupně. **Pasivní** aplikace fungují podobně jako video. Můžeme ho pouze vidět nebo slyšet. Režie je plně v rukou programu, tudíž jej nemůžeme nijakým způsobem ovlivňovat. Jedná se například o kino, nebo některé atrakce v zábavním parku. Mezi pasivní atrakce lze zařadit i telekonference, kde se lidé ve skutečnosti nacházející na jiném konci světa, sedí u jednoho stolu a navzájem se vidí a slyší, nemohou se však pohybovat ani si podat ruce. Dalším stupněm jsou aplikace **aktivní**. Zařízení umožňuje uživateli volně se pohybovat po prostředí a libovolně ho zkoumat. Uživatel se pohybuje podobně jako duch a prochází stěnami. Ve stavebním průmyslu slouží k prezentaci a k prohlížení již stávajících nebo doposud ještě nerealizovaných budov či staveb. Nejnáročnější a zároveň nejdokonalejší jsou aplikace plně virtuálně **interaktivní**. Ty umožňují uživateli prostředí nejen zkoumat, ale i různě upravovat. Je možné uchopovat předměty a provádět s nimi nejrůznější operace. Konkrétně ve stavebnictví lze toto využít k návrhu dispozice nebo k uspořádání nábytku v objektu. Možnosti jsou prakticky neomezené. [17]

Virtuální realita

Počítačem generované prostředí umožňuje uživateli s ním různě interagovat. Pomocí různého vybavení se může osoba do světa naprosto ponořit a odstínit se tak od světa skutečného.

Rozšířená realita

Je technologie, která umožňuje vidět skutečný svět obohacený nebo překrytý vytvořeným virtuálním modelem. Uživatel vidí stále reálné objekty společně s prostorem kolem sebe jen s doplněným počítačem generovaným obsahem. Rozšířenou realitu umožňují zařízení jako Microsoft Hololens, Daqri, SmartGlasses, které umí pracovat s programy od firmy Autodesk. [18]



Obrázek 14 - Technologie rozšířené reality [49]

3.1 Virtualizace ve stavebnictví

Nové konstrukční technologie neustále mění způsob výstavby, od aplikací na mobilních zařízeních, až po laserové skenování nebo fotogrametrii dronu. Virtualizace je dalším stupněm 3D modelování. Nástup technologie virtuální reality do stavebnictví odstraňuje některé problémy. [52]

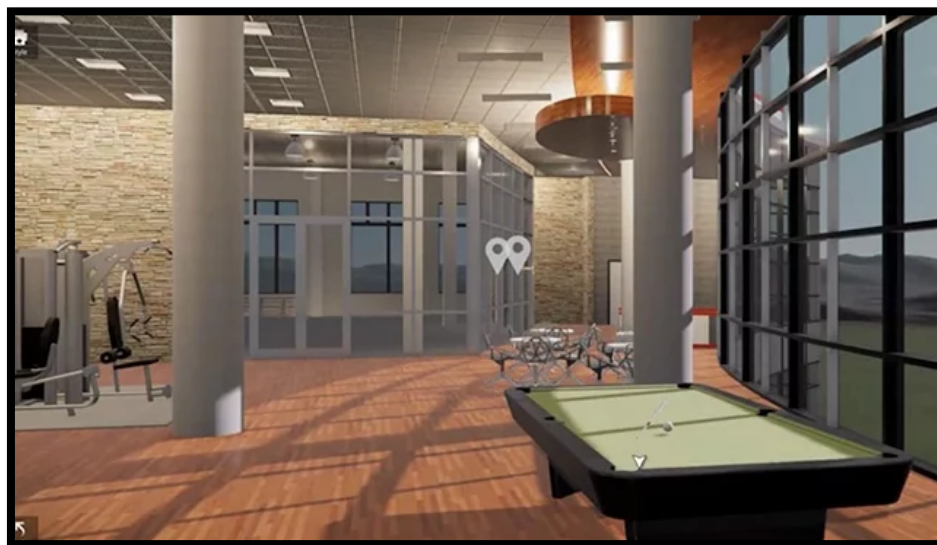
Spolupráce

Virtuální realita dává možnost všem účastníkům stavebního procesu vidět a kontrolovat stavbu, aniž by se fyzicky na staveništi vyskytovali. To týmům

usnadňuje spolupracovat v reálném čase, v rámci sdíleného prostředí, kde lze doslova poukázat na detaily či nedostatky a okamžitě o nich diskutovat. Tím se značně usnadní proces zpětné vazby. Možnost virtuálního procházení po staveništi sníží i přepracování, dále se zvyšuje přesnost a detailní úroveň komunikace. Například nezisková organizace Build Change staví objekty po celém světě, a to i v rozvojových zemích a oblastech. Pomocí VR pomáhají zúčastněným stranám přímo na místě pochopit jednotlivé potřeby projektu jak ve fázi plánování, tak ve fázi realizace.

Transparentnost

Nedostatek transparentnosti je pro všechny účastníky stavebního procesu velký problém. Namísto výkresů v tištěné formě si může, ať už klient nebo stavebník, vstoupit do modelu VR, a prohlédnout si některé detaily. Konkrétně klientům to umožňuje i bez větších znalostí stavářiny provádět inteligentní rozhodnutí, čímž se zlepšuje i schopnost dodavatele naplnit jeho očekávání. Během procesu realizace stavby mohou neustále aktualizované 3D modely v prostředí VR umožnit zákazníkům sledovat vývoj projektu a ověřit si, že vše jde podle plánu. Pokud se narazí na problém zákazník může ihned pomocí VR oslovit realizační firmu i naopak. Obrovská výhoda se jeví i fakt že, developři jsou schopni díky detailnímu virtuálnímu modelu prodat nemovitost ještě před dokončením stavby. VR detailně zobrazí veškeré podhledy, osvětlení, dispozici nebo vybavení. To zvyšuje rychlost příjmů komerčních procesů. [52]



Obrázek 15 - Ukázka virtuálního modelu [52]

Bezpečnost

Některé firmy nabízí software, pomocí kterého je možné sledovat dělníky a jejich pohyb na stavbě. Přilba Daqri například zvyšuje bezpečnost tím, že upozorňuje na některé vlastnosti pracovního prostředí, jako je teplota. Inteligentní čip Redpoint Positioning slouží obdobným způsobem. Polohové údaje pracovníků se neustále odesílají do počítače manažera nebo dozoru stavby. Manažeři tak mohou vidět všechny svoje pracovníky v reálném čase, což jim umožní identifikovat potenciálně nebezpečné situace předtím, než budou eskalovat. Odznak může také upozornit pracovníka, pokud se chystá vstoupit do nebezpečné zóny. [53]



Obrázek 16 – Inovativní přilba Daqri [53]

Kvalita

Technologie VR umožňuje učinit jednak rychlejší, tak kvalitnější rozhodnutí. Podporuje lepší a rychlejší pochopení sdílených nápadů, čímž zanechává jen malý prostor pro mylnou interpretaci. Minimalizace nedorozumění má za následek jen málo změnových listů, díky čemuž dojde ke snížení doby realizace projektu. Technologie VR a AR je obrovským přínosem pro kontrolu procesu realizace stavby, avšak spojením s technologií UAV získáme ještě detailnější informace. Tyto informace lze také ukládat a používat v běžném datovém prostředí, jako je BIM 360. [53]



Obrázek 17 - Ukázka užití technologie UAV [53]

4 BEDNĚNÍ

Bednění je trvalá nebo dočasná konstrukce vytvářející formu pro uložení a zhutnění čerstvého betonu při výrobě monolitických konstrukcí a prvků, nebo pro uložení a zhutnění hlíny při budování zdí hliněných staveb. Samotná forma bednění se skládá z bednicího pláště, vnitřních a vnějších výztuh. Poloha bednění se zabezpečuje opěrným a podpěrným systémem.

Bednicí plášť je ta část bednění, která je neustále vystavována vlivům čerstvého betonu. Pro výslednou kvalitu a povrchu betonové konstrukce je rozhodující právě povrch bednicího pláště, zejména u pohledového betonu má kontaktní plocha pláště různé druhy úprav, které výsledný povrch konstrukce upravují. Jelikož je na plochy bednicího pláště neustále vyvíjen tlak čerstvého betonu, je forma dále opatřena **vnějšími výztuhami**. Ty tvoří nejčastěji rošt navzájem kolmých nosníků. Rošt slouží k přichycení prvků bednění, ze kterých se skládá plášť, a také k přenosu sil, které během ukládání betonové směsi do bednění na plášť působí. Tyto síly zachycené tímto roštem je nutné přenést do dalších pevných konstrukčních částí bednění. U **vodorovných konstrukcí** k přenosu sil slouží podpěrný systém, který přenáší svislé zatížení do spodních provedených konstrukcí nebo do zeminy. U svislých konstrukcí zajišťuje svislost a tuhost bednění opěrný systém. Jedná se především o vzpěry nebo opěrné trojúhelníkové rámy. Tyto opěry je pak nutné ukotvit do hotové konstrukce, aby bylo zamezeno jakémukoli pohybu bednění vlivem ukládání betonové směsi.

Jednorázově užitě, jinak též ztracené bednění, je bednění, které se ponechává zabudované v konstrukci. Nejčastěji tvoří povrchovou úpravu betonového prvku, může však být i nosným prvkem, popřípadě i zabezpečovat vodotěsnost betonu. Jednorázově užitě bednění se používá tam, kde po vybetonování konstrukčního prvku už není možný přístup k odbednění. Toto bednění vyráběno převážně z levných materiálů (recyklovaný papír, recyklovatelné plasty).

Opakovaně užitě bednění je přizpůsobené pro opakované používání. U železobetonových monolitických konstrukcí se v současnosti s tímto bedněním setkáváme nejčastěji. U tohoto bednění je nejdůležitějším faktorem životnost bednění. Životnost bednění je doba, po kterou dokáže bednění bezvadně plnit svou funkci. Skutečná životnost je přímo závislá na způsobu zacházení s bedněním. Ať už při jeho transportu, montáži či demontáži. Teoretická životnost vychází z předpokladu zacházení s bedněním, které udává výrobce a tvoří základ pro určení výše odpisové sazby. Odpisová sazba vyjadřuje roční procento opotřebení bednění. Odpisy vyjadřuje postupné snižování hodnoty majetku firmy vlastníci bednění. Toto postupné snižování hodnoty se promítá do nákladů firmy tak, že se určí procentuální podíl, který z hodnoty ročního odpisu připadá na jeden kalendářní den. Tato procentuální sazba je základem k výpočtu denního nájmu za bednění. Jako opakovaně užitě bednění považujeme například tradiční tesařské bednění, speciální bednění a systémové bednění.

Tradiční tesařské bednění je tvořeno z měkkého stavebního dříví. Bednicí plášť je tvořen nehoblovanými prkny I. a III. jakostní třídy. Počet možných opakování se výrazně promítne v nákladech na bednění. Opakované užití tradičního tesařského bednění je velmi pracné, zejména po odbednění očištění pláště. V současnosti se tesařské bednění provádí většinou pouze na větších stavbách, jako nezbytný doplněk vhodně zvoleného systémového bednění. Zajímavým typem je **speciálním bednění**. To je například tunelové bednění, samo šplhací bednění, pojízdné bednění či posuvné bednění. Návrh betonové konstrukce se zpracovává společně s návrhy těchto speciálních bednění. Tato bednění jsou velmi drahá, a aby se výroba tohoto bednění byla efektivní z investičního hlediska je potřeba vysokého počtu obrátek. [5]

Systémová bednění jsou tvořena souborem továrně vyráběných prvků. Tyto bednicí formy dokáží odolat výrazně vyšším tlakům než tradiční tesařská bednění, jsou výrazně přesnější a spojení jednotlivých dílců je velice jednoduché. Bednění vyrábí a následně pronajímají či prodávají firmy jako jsou například ULMA, PERI, DOKA, MEVA, NOE, GEOPLAST, REXCOM. Největší výhodou systémových bednění je rychlost montáže a vysoká obrátkovost materiálu, která zásadně ovlivní náklady na realizaci.

Předpokládaná obrátkovost systémových může dosahovat až 300 obrátů. Každý výrobce využívá různých systémových prvků a materiálů. Nejčastěji se však jedná o ocel a překližku. Materiály používané na systémové bednění se vyznačují několikanásobným použitím. Proces bednění je takzvaný mokrá proces, při kterém je bednění neustále vystaveno agresivnímu prostředí cementu z betonových směsí a povětrnostním vlivům. [5, 20]

4.1 Pronájem bednění

Výše nákladů na pronájem rámového bednění se zvyšuje se složitostí stavby, výškou a tloušťkou realizovaných betonových konstrukcí. V případě svislých konstrukcí se výška a šířka konstrukce zobrazí v nákladech ve formě zvýšeného počtu spojovacích a ztužovacích prvků. U stropního bednění vstupuje do nákladů nejvíce tloušťka stropní desky. S měnící se tloušťkou stropní desky se mění i hustota primárních či sekundárních nosníků a hustota podpěrných prvků (věže, stojky). Výpočet maximální přípustné vzdálenosti stojek je různý, a je závislý na typové značce systémového bednění. Každý projekt je jiný, a je nutné konkrétní možnosti řešit vždy individuálně. Výběr a návrh vhodného systémového bednění závisí na kvalitě betonu, jeho pohledovosti, přítomnosti jeřábů nebo opláštění bednicí formy. U velké části projektů je v dnešní době nejdůležitější, aby se bednění co nejvíce „točilo“ a bylo ho na stavbě minimální množství. Například u složitých stěn se nasazené bednění rozdělí do více záběrů, aby jedna sada bednění byla využita pro všechny stěny. Proto se kladе značný důraz na znalosti pracovníků z technického oddělení firmy, která bednění pronajímá. V takovémto případě je nájem bednění stanoven na sestavy. Nájem se oceňuje v Kč/m²/den. Postup stanovení výše nájmu je přiblížen v následujícím odstavci. Na technickém oddělení firmy pronajímající bednění, se nejprve vytvoří výkres bednění. Každá firma využívá vlastní software předdefinovaný na svoji typovou značku bednění. Firma ULMA používá software Grafssystem, firma PERI software PERI CAD a firma DOKA software Tipos8. Princip fungování softwarů je obdobný. Z výkresu bednění se vytvoří výpis jednotlivých prvků bednění. Každá z firem má vytvořenou vlastní cenovou databázi. V těchto databázích jsou uloženy řádově stovky položek systémového bednění, které jsou ohodnoceny plnou cenou. Kalkulace se pak provede ve

výpočetních programech (Microsoft Excel). Firma pronajímající bednění stanovuje výši denního nájmu procentuálně z plné ceny jednotlivých prvků bednění. Počet procent se liší a je závislý na rychlosti opotřebení obrátkového materiálu. Největšímu opotřebení podléhají prvky z dřevěného materiálu. U ocelových prvků je opotřebení minimální, takže procentuální sazba je nižší. [55, 56, 57, 58]

4.2 Klasické systémové bednění

V následující podkapitole jsou charakterizovány některé aspekty nejpoužívanějších bednicích systémů v současnosti. Jedná se o ocelové bednění rámové a čtyřprvkové stropní bednění.

4.2.1 Materiál pro výrobu bednění

Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších prvků. Díky své vysoké pevnosti v tahu a poměrně nízkým nákladům je hlavní součástí staveb, infrastruktury, strojů a zbraní. Ocel je nejčastěji používaným kovovým materiálem. Legováním uhlíkem a dalšími prvky a kombinací tepelného a tepelně-mechanického zpracování je možno ovlivnit vlastnosti ocelí v širokém rozmezí, a tak jejich vlastnosti přizpůsobit zamýšlenému použití.

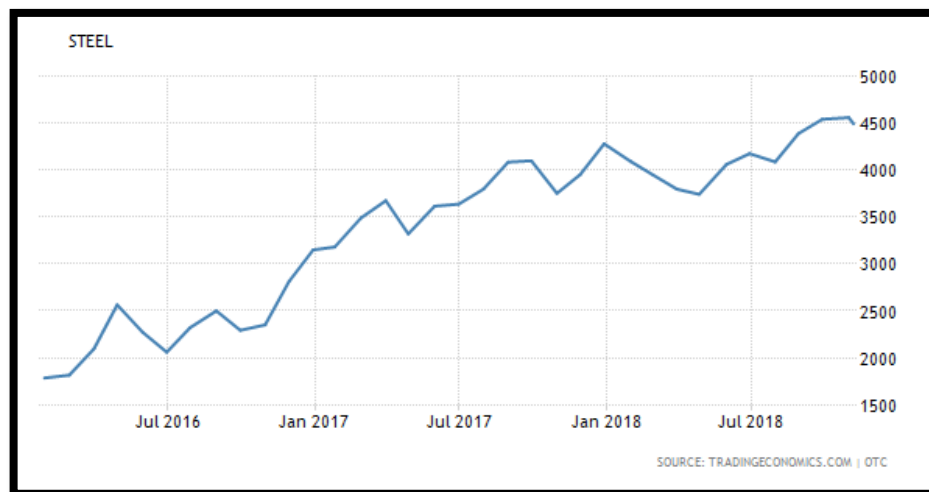
Hustota oceli	7850 kg/m ³
Bod tavení	1539 °C
Modul pružnosti	E = 210 000 MPa
Modul pružnosti ve smyku	G = 81 000 MPa

Dřevo patří k nejstarším stavebním materiálům. V současné době zaznamenávají dřevěné konstrukce celosvětově velký rozvoj. Hlavními důvody tohoto vývoje jsou výhodné konstrukční vlastnosti dřeva, zejména lehkost, snadná opracovatelnost a dobré izolační vlastnosti. Stále více jsou využívány i dobré vlastnosti lepených dřevěných prvků a kompozitních materiálů na bázi dřeva. Svůj podíl na stoupající oblibě dřeva mají také požadavky na ochranu životního prostředí, protože právě dřevo je jedním z mála stavebních materiálů, které jsou schopny se přirozeně obnovovat.

Překližky neboli vrstvené dřevo vznikají slepením tří nebo více vrstev loupáných nebo krájených dýh. Podle konstrukce norma rozlišuje překližky, jádrové desky (laťovky a dýhovky) a složené desky. Podle trvanlivosti se překližované desky dělí na desky pro použití v suchém prostředí, ve vlhkém prostředí a ve venkovním prostředí. Podle úpravy povrchu se desky dělí na nebroušené, broušené, povrchově upravené a opláštěvané (např. dýhou, filmem, impregnovaným papírem). Překližky jsou desky ze vzájemně slepených vrstev, přičemž směr vláken na sobě ležících vrstev je většinou kolmý. Počet vrstev bývá převážně lichý a vrstvy, jež jsou od středu uloženy souměrně, mívají stejný směr. Pro konstrukci bednění se používají překližky typu HDO (High Density Overlay) a MDO (Medium Density Overlay) jsou na povrchu opatřeny vrstvou reaktoplastu, který zajišťuje velmi hladký a ořezuvzdorný povrch. [24]

Celosvětová poptávka po oceli neustále roste a dalo by se očekávat, že poroste i v dalších letech rychleji. Rizikem však zůstává současné napětí v mezinárodním obchodu, jak udává Světové sdružení oceli WSA. Na letošní rok sdružení předpovídá růst poptávky o 3,9 % na 1,658 miliardy tun. Poptávku vede hlavně Čína, která je největším světovým jak spotřebitelem, tak výrobcem. V dubnu letošního roku Světové sdružení oceli očekával růst poptávky na letošní rok o 1,8 %. Příští rok tempo růstu zpomalí na 1,4 %, to je ale i tak dvojnásobek ve srovnání s předchozím odhadem. Celkem má poptávka činit 1,681 miliardy tun. [25]

V následujícím grafu je zobrazen růst cen oceli od května roku 2016 až do současnosti.



Obrázek 18 – Graf vyobrazující vývoj cen oceli [26]

Z grafu je patrné, že se cena oceli zvýšila o 149 juanů za tunu tohoto materiálu. To je nárůst od ledna 2018 o 3,42 %. Pro představu se jedná o nárůst v přepočtu na české koruny celkem o 489 Kč za tunu oceli. Historicky dosáhla ocel nevyšší hodnoty 4780 (cca 15 944 Kč) v září 2018 a nejnižší hodnoty 1750 (cca 8 813 Kč) v únoru roku 2016. [26]

Cena železné rudy momentálně v současnosti narůstá, a to především proto, že Čína byla nucena snížit svou produkci oceli kvůli vysokému znečišťování ovzduší. Jedná se přibližně o 140 milionů tun. Toto snížení je více než se v Evropě vyrobí za jeden rok. Agentura Reuters oznámila, že průměrná cena železné rudy bude v příštím roce 54,7 USD, což je v přepočtu zhruba 1250 Kč za tunu. Dle expertů nestojí cenovému růstu nic v cestě. [27]

4.2.2 Proces bednění

Čtyřprvkové stropní bednění

Jedná se o čtyřprvkové bednění, které se používá na všechny druhy stropních konstrukcí, hladkých stropních deskách, stropů s žebry, trámy a průvlaky. V současnosti je čtyřprvkové stropní bednění nejpoužívanější díky tomu, že jeho montáž nevyžaduje těžkou mechanizaci a je vhodné pro uzavřené a složité

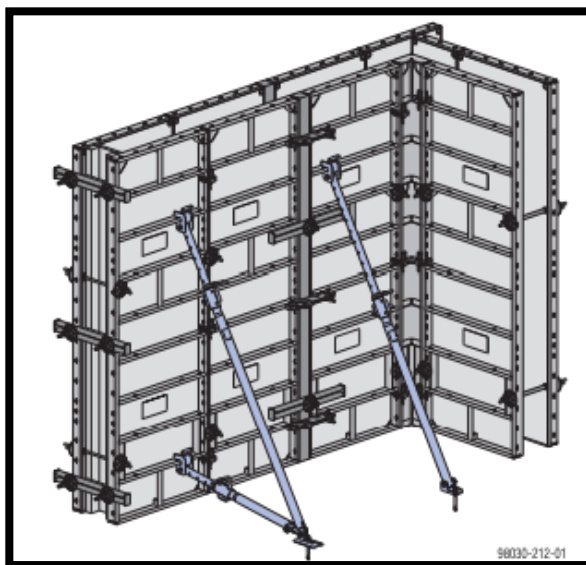
členěné půdorysy. Systém tvoří primární a sekundární nosníky různých délek, odbedňovací plášť z několikavrstvé překližky tl. 21 mm, ocelová podpěrná konstrukce ve formě stojek do výšky maximálně 5 m, dále vidlicové hlavy a opěrné trojnožky. Počet nosníků a stojek a jejich rozmístění udává výrobce a je přímo závislé na tloušťce desky. [19 s.139]



Obrázek 19 - Čtyřprvkové stropní bednění DokaFlex [28]

Rámové stěnové bednění

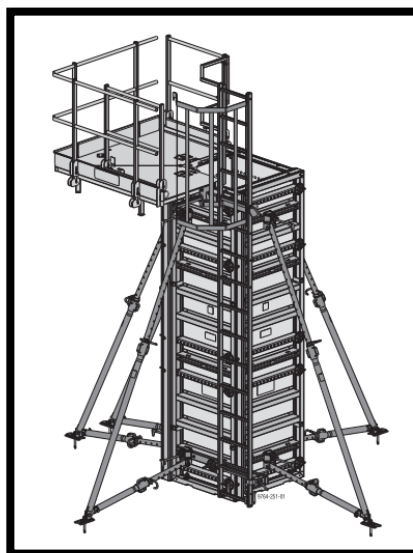
Jedná se o rámové bednění, u kterého je největší důraz kladen na jednoduché obedňování a urychlení doby montáže a demontáže bednění. Jednotlivé dílce různých velikostí se spojují typovým zámkem. Dílce lze používat v poloze nastojato i naležato. K dispozici jsou systémové díly pro připojení stěn, odbočné stěny, vnitřní a vnější rohy. Stabilizace je zajištěna stabilizačními prvky. Maximální dovolený tlak čerstvého betonu až 80 kN/m². Pro zajištění bezpečné práce jsou k dispozici konzoly a lávky. Díky práškovému lakování jednotlivých panelů je usnadněno jejich čištění, avšak užití bednicího oleje je nutné. [21]



Obrázek 20 - Stěnové rámové bednění Frami Xlife [29]

Sloupové bednění

Sloupové bednění je doplňkem stěnového bednění, panely s šířkou 90 cm lze nasadit také ve stěnovém bednění. Nabízí možnost vytvoření ostrých nebo zkosených hran za použití trojhranných lišt. Maximální dovolený tlak čerstvého betonu 100 kN/m². Speciální matice umožňují spojení panelů bednění jednou rukou. Betonářská plošina s možností plynulého přizpůsobení, žebříkový výstup pro zajištění bezpečného přístupu. [22]



Obrázek 21 - Sloupové bednění Frami Xlife [30]

4.3 Kompozitní bednění z technopolymeru

Vyvinuté technické polymery, které jsou odolné proti zdrojům vlhkosti a sesychání, nepodléhají korozi a mohou být bez problémů nasazeny ve spojení s betonem. Požadované mechanické vlastnosti jsou nastaveny variabilním podílem vláken v systémových dílech. Pro žádoucí zatížitelnost vznikají díky materiálu z technického plastu významné úspory hmotnosti oproti ocelovým konstrukcím. Výhoda malé hmotnosti jednotlivých dílů je znatelná na mnoha místech. Především při manipulaci: žádný konstrukční díl neváží víc než 25 kg. Dokonce i dva panely, spojené na standardní výšku stěny 270 cm, mohou při hmotnosti cca 60 kg snadno umístit dvě osoby. Lehké konstrukční díly usnadňují manipulaci, zmenšují fyzickou zátěž a snižují riziko vzniku nehod. Při přepravě a logistice je ve hře méně pohyblivé hmoty, nejsou využívány žádná zařízení nebo jeřáby s velkou únosností – úspora nákladů za energii a stroje. Malá poškození bednicí desky, vyrobené ze stejného materiálu, mohou být snadno opravena. Desky vyrobené přesně podle rozměrů panelů se rychle vymění s pomocí jednoduchého nářadí přímo na stavbě. [31]

4.3.1 Materiál pro výrobu bednění

Akrylonitrilbutadienstyren ABS je termoplast vznikající polymerací ze třech komponentů akrylonitrilu, butadienu a styrolu. Využívá se především pro jeho rázovou houževnatost i při nízkých teplotách, vysokou tuhost a dobrou obrobitelnost. Velmi důležitá je také odolnost nasákavosti a mechanickému opotřebení. ABS je možno lepit pomocí lepidel na bázi toluenu nebo polyakrylátovými lepidly. Dobře odolává velké škále chemikálií od zásad až po kyseliny. Plast ABS lze dobře zpracovávat pomocí tepla při teplotách až do 280 °C. Obrábět lze prakticky všemi technikami. Například soustružením, frézováním, vrtáním, řezáním. ABS nachází využití prakticky v každém oboru průmyslu. Využit lze pro jednoduché mechanické díly, ale také pro složité součástky s nárokem na dobrou mechanickou i chemickou odolnost. Plast slouží také k výrobě potrubí pro klimatizace, úpravy vody, dále také v potravinářském průmyslu, k výrobě lodí, slouží také jako materiál pro 3D tisk. [32]

Měrná hmotnost ABS: 1,04 g/cm³
 Barva: šedá neprůhledná

Tabulka 2 - Vlastnosti materiálu ABS [33]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka	Parametr	Použitá norma
Modul pružnosti	1700	MPa	v tahu	DIN EN ISO 527-2
Modul pevnosti v tahu	32	MPa	50 mm/min	DIN EN ISO 527-2
Zkouška tvrdosti kuličkou	74	MPa		ISO 2039-1
Pracovní teplota	100	°C	krátkodobě	
Pracovní teplota	75	°C	dlouhodobě	
Tepelná roztažnost		10 ⁻⁵ K ⁻¹	krátkodobě	DIN53483

Avšak možnosti recyklace jsou u plastu ABS omezeny. Chceme-li zachovat stejné mechanické vlastnosti jako při použití čistého ABS, nelze jej opakovaně recyklovat a následně použít 100 % recyklovaného materiálu. Bylo vydáno již několik vědeckých studií na téma recyklace ABS plastu, které ukazovaly vliv opakovaného recyklování na jeho vlastnosti. Všechny zmíněné studie pracovaly se 100 % recyklovaným ABS. Studie jednoznačně ukázaly, že při jednotlivých cyklech dochází k termo-mechanické degradaci materiálu a dochází ke štěpení polymerního řetězce. To zapříčiňuje změnu mechanických vlastností materiálu. Chceme-li zachovat ideální, neměnné vlastnosti po více cyklů recyklace, je potřeba recyklovanou část plastu mísit s čistými granulemi. Výsledky některých studií ukazují, že při mísení 15 % recyklovaného materiálu s 85 % čistého materiálu ve formě granulí nevykazuje výsledný výrobek žádnou změnu mechanických vlastností a díky tomu je použitelný do praxe a to až pro 60 cyklů recyklace. [34, 50, 51]

4.3.2 Vývoj cen ABS – Akrylonitrilbutadienstyrenu

Poptávka po akrylonitril-butadien-styrenu je silně ovládána oblastmi Asie a Tichomoří, mezi nimiž má Čína a Indie maximální podíl. Hlavním faktorem čínského trhu je rostoucí poptávka z automobilového a elektronického sektoru. Údaje ukazují, že v březnu tohoto roku cena ABS klesla na 2035 amerických dolarů / tunu (CFR severovýchodní Asie). [35]



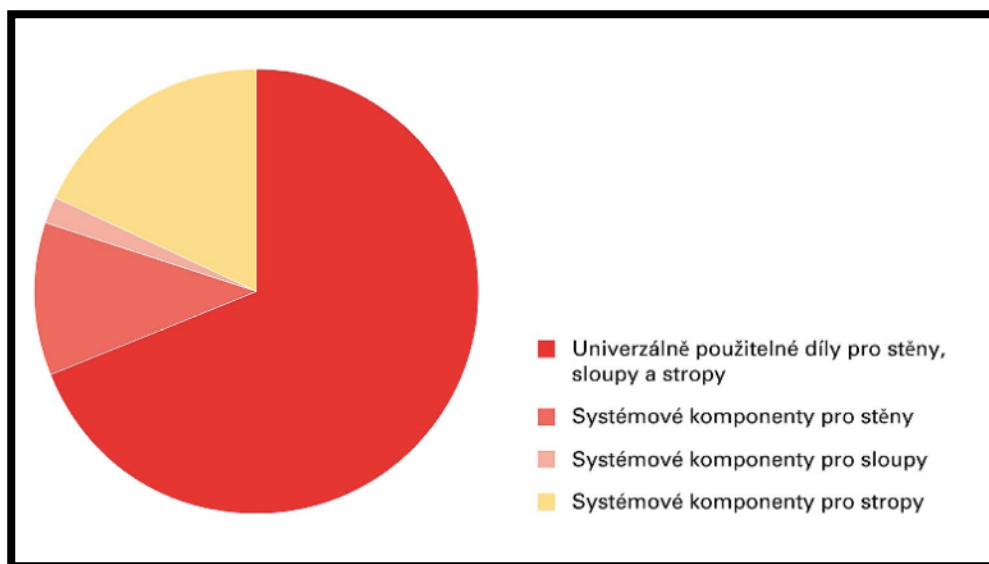
Obrázek 22 - Graf vyobrazující vývoj cen ABS [36]

Podle webu ICIS došlo v poslední době ke snížení poptávky po plastu ABS akrylonitril-butadien-styrenu. Po startu obchodní války Číny s USA se ceny ABS ke konci roku pohybovali většinou v nízké hodnotě 1 900 dolarů za tunu tohoto materiálu. Vzhledem k pokračujícímu se snižování cen vstupních materiálů se významný cenový nárůst tohoto plastu nedá očekávat. [37, 38, 39]

4.3.3 Koncepce bednění

Koncepce tohoto bednění je založena na možnosti univerzálního nasazení většiny systémových konstrukčních dílů na svislé i vodorovné konstrukce. Toto

inovativní rozvržení zajistí výrazné snížení investičních nákladů. Výrobce udává, že při stanovení potřebného množství materiálu pro zabetonování 200 m² stěn a čtyř sloupů, vysokých 2,70 m, by se mělo při nasazení tohoto systému také na stropní konstrukci počítat se zvýšením investičních nákladů o pouhých 20 %.



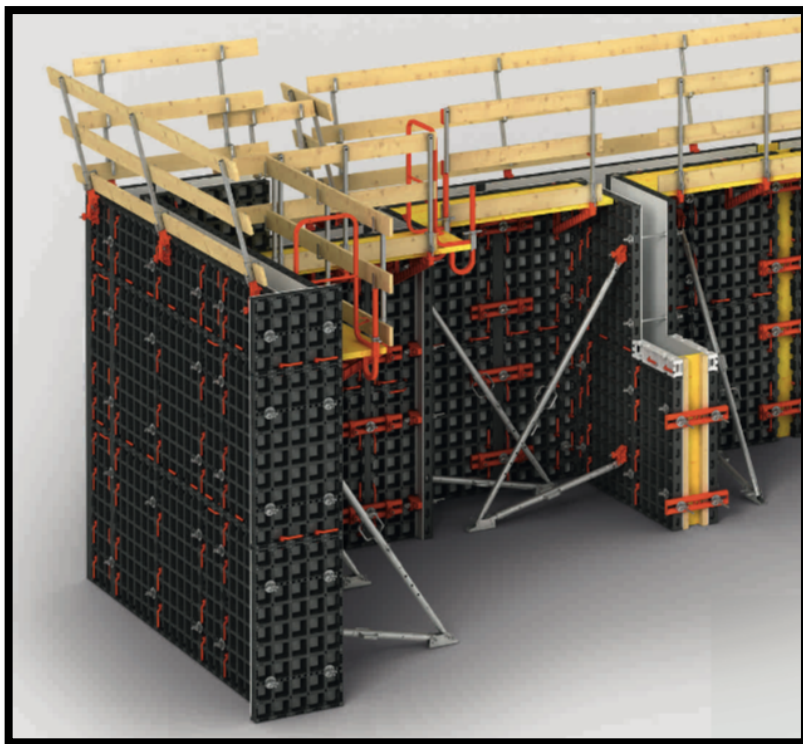
Obrázek 23 - Koncepce bednění Peri DUO [42]

Investiční náklady jsou výrazně nižší než při použití tří různých klasických bednicích systémů. Tato koncepce podporuje také princip udržitelnosti: méně dopravy a výrazně nižší hmotnost přepravovaného zboží také snižují spotřebu energie pro logistiku. [40]

4.3.4 Proces bednění

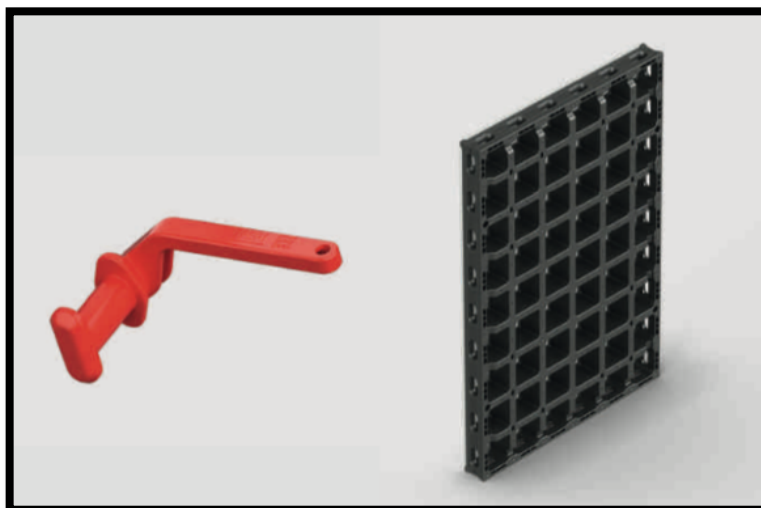
Se stejnými komponenty je možné bednit stěny, stropy i sloupy. Více než dvě třetiny všech dílů mohou být použity jak vodorovně, tak i svisle. Množství stejných dílů pro vodorovné a svislé nasazení je vhodné nejen pro logické montážní postupy, ale snižuje také pořizovací náklady a vyžaduje menší skladovací plochy než samostatné bednicí systémy pro stěny a stropy. Vzorové výpočty ukazují, že při menším standardním vybavení pro bednění stěn jsou nutné pouze cca o 20 % vyšší investice, aby bylo možné se stejným systémem budovat i stropy – včetně spínání, stabilizátorů, stropních stojek, konzol a ochrany proti pádu z výšky. Výrobní postup nabízí také využití vysokého stupně

volnosti při tvarování materiálu. Prvky pro vnější a vnitřní rohy jsou stejné, úchyt pro stabilizátor je zároveň úchytem pro sloupek zábradlí a slouží k připevnění vyztužení stropního bednění. [41, 42]



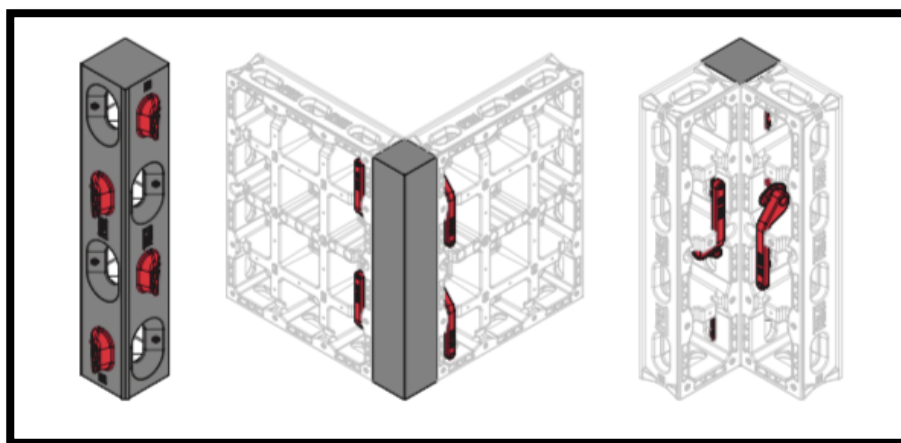
Obrázek 24 - Bednění z technopolymeru [42]

Základními díly systému je panel bednění včetně bednicího pláště a spojka. Spojka se umístí do podélného otvoru v rámu a poté otočí o 90°. Toto spojení zajišťuje rovné uspořádání panelů. Vzhledem k tomu, že se klipy po montáži zarovnají s panelem a nevyčínívají, mohou být předem smontované sestavy velmi dobře stohovány. Panely jsou k dispozici v různých výškách a délkách podobně jako systémové bednění ocelové. S 6 různými šířkami panelů od 15 cm do 90 cm je možné vyrovnání v modulu po 15 cm. [42, 45]



Obrázek 25 - Základní díly bednění z technopolymeru [41]

Pravoúhlé rohy, odbočné stěny a spoj stěn je možné bednit od 15 cm do 40 cm tloušťky stěn v modulu po 1 cm. V tomto případě se osazuje roh a podle potřeby doplňují vložky. Roh je možné nasadit pro pravoúhlé vnější a vnitřní rohy a následně také pro všechna potřebná odsazení stěn.



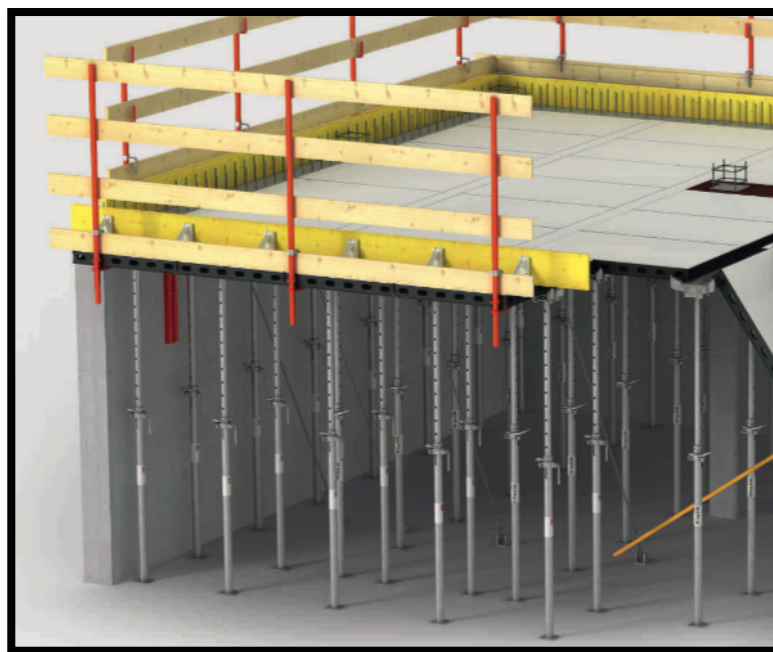
Obrázek 26 - Ukázka možností napojení rohu [41]

S kompozitním bedněním od firem Geopanel a Epic lze realizovat i kruhové a eliptické sloupy až do průměru 50 cm. Forma na rozdíl od jiných bednění (dřevo, lepenka) umožňuje snadnou a rychlou demontáž. [42, 45]



Obrázek 27 - Bednění kruhových sloupů [42]

Kompozitní panelové stropní bednění bez nosníků je možné použít pro stropy až do tloušťky 30 cm. Zbytkové rozměry okolo sloupů a stropních desek lze jednoduše bednit za pomoci praktického příslušenství.



Obrázek 28 - Ukázka bednění stropní konstrukce z plastového bednění [41]

Montáž bednění vodorovné konstrukce je realizována bezpečně zdola. Panely se nejprve zavěsí a poté vyzdvihnou směrem nahoru pomocí vidlice. Velikost panelů přímo určuje polohu stojek, čímž je minimalizováno pracné

vyměřování. Tato systematicčnost umožňuje rychlé stavění a manipulaci i neproškoleným pracovníkům. [41, 42]



Obrázek 29 - Ukázka zřízení bednění stropní konstrukce [41]

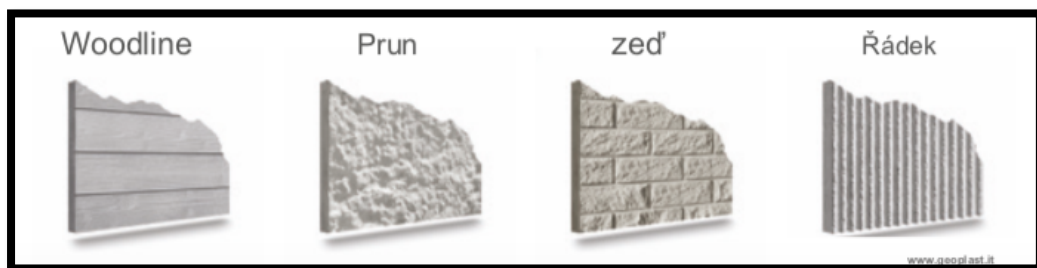
4.3.5 Bednicí plášť

Časté používání bednění vede k opotřebení bednicího pláště, což vede ke zhoršení kvality povrchu betonu. Proto je u všech rámových konstrukcí nutná jeho pravidelná výměna. Výměna nevyžaduje speciální nářadí ani odborné znalosti. Konkrétně u systému od firmy PERI se provádí výměna jednoduše několika šrouby přímo na stavbě. [41]



Obrázek 30 - Výměna bednicího pláště [41]

Bednění z ABS umožňuje různé variace výsledné pohledovosti konstrukce. Dá se využít například k vytvoření texturované železobetonové stěny. Deska bednicího pláště se dá jednoduše zaměnit za bednicí desku s vyliisovanou texturou během několika minut. Při navrhování má architekt prakticky neomezené možnosti. [41, 42, 43, 44, 45]



Obrázek 31 - Možné textury u kompozitního bednění [44]

4.3.6 Zásady užívání

- Jednotlivé panely je nutné po každém použití vyčistit.
- Nikdy netahat panely po zemi, aby nedošlo k poškození bednicího pláště.
- Šrouby a hřebíky používat maximálně do délky 5 cm a šířky 2,7 mm.
- Očistit zadní a vrchní stranu bednění ihned po vylití betonem.
- Vždy je nutné zašpuntovat nepoužité díry pro závitové tyče.
- Používat výhradně gumové kladivo, škrabku a originální klíny.
- Po demontáži bednění je nutné bednění vždy očistit.
- Nepoužívané bednění ukládat na panely.
- Jakékoliv upravování panelů je zakázáno. [45]

4.3.7 Udržitelnost

Při výrobě komponentů se podle informací, které udává výrobce nevytváří žádný odpad. Ve výrobním procesu se využívá 100 % surovin. Komponenty lze opakovaně používat. Konkrétně plastové bednění PERI DUO lze znovu použít až 100krát, a navíc je možné jej opravit i a stavbě. Pokud se toto bednění poškodí je možné ho opravit přímo na místě v místě poškození, a může tak proces

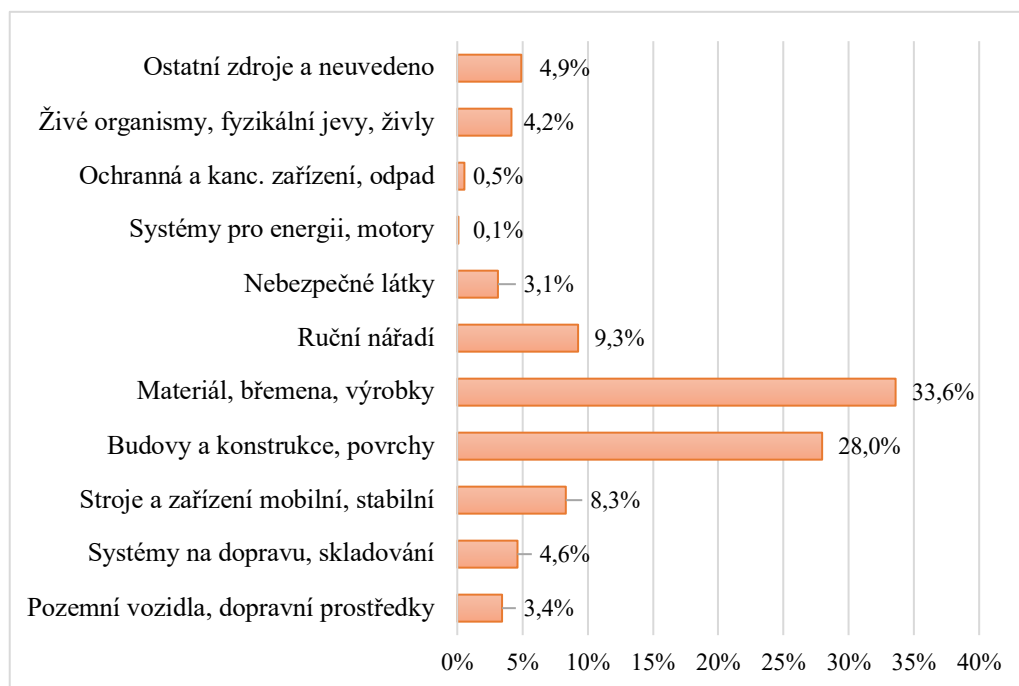
bednění pokračovat bez nežádoucího zdržení. Ve srovnání s klasickým rámovým systémovým bedněním (ocel, překližka) je odpad snížen na minimum. Bednění z technopolymeru je nejen ekologický výrobek, ale i ekologický koncept. Po uplynutí doby životnosti může být materiál recyklován a znovu použit pro výrobu nových panelů. Tímto způsobem je dosaženo udržitelné ekonomiky s uzavřenou smyčkou. [41]

4.4 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Bednění musí být prostorově tuhé, těsné a únosné. Bednicí forma musí být v každém stádiu montáže i demontáže zajištěno tak, aby nedošlo k jeho pádu či pádu jeho prvků a částí. Při provádění bednicích prací se vždy musí postupovat v souladu s průvodní dokumentací výrobce a s ohledem na bezpečný přístup a zajištění proti pádu fyzických osob. Věžky, stojky, rámové podpěry nebo jiné podpěrné konstrukce bednění, musí být dostatečně únosné a musí být úhlopříčně ztuženy ve vodorovné, podélné i příčné rovině. Podpěrné konstrukce musí být navrženy a smontovány tak, aby při provádění odbedňovacích prací bylo možné bezpečně uvolnit. Návrh podpěrných konstrukcí a bednění musí být doložen statickým výpočtem. Před zahájením betonářských prací musí být bednicí forma a její části překontrolovány, a zjištěné nedostatky odstraněny. O předání a následném převzetí vybedněné konstrukce a její kontrole se provede záznam do stavebního deníku. Zhotovitel vždy provádí kontrolu stavu podpěrné konstrukce bednění. Odbedňovací práce mohou být zahájeny pouze na pokyn fyzické osoby určené zhotovitele. Žebřík je při provádění odbedňovacích prací povoleno používat pouze do výšky 3 m. Při odbedňovacích pracích musí být ohrožený prostor zajištěn proti vstupu nepovolaných osob. [23]

Nesprávná manipulace s břemeny je příčinou vzniku různých potíží, které mohou vyústit v trvalá onemocnění svalově kosterního aparátu. Manipulace a zacházení s materiály či břemeny může být zdrojem i náhlého poškození zdraví, tj. pracovních úrazů. Materiál, břemena, předměty jsou podle ČSÚ nejčastějším zdrojem pracovních úrazů. Druhým nejčastějším zdrojem jsou budovy a povrchy, kdy se jedná hlavně o pády z výšky a do hloubky. Třetím nejčastějším

zdrojem je ruční nářadí. Pro představu je z dat ČSÚ a SÚIP vypracován graf, zobrazující zdroje úrazů v procentech. [46, 47, 48]



Obrázek 32 – Nejčastější zdroje úrazů dle ČSÚ [59]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

Aby bylo možné poukázat na efektivnost této moderní technologie, bude v této kapitole simulován návrh bednění na projektu rodinného domu. Pro vyčíslení úspory nákladů bude využito srovnání kompozitního systémového bednění z technopolymeru se stěnovým rámovým bedněním a čtyřprvkovým stropním. Návrh bednění bude realizován na základě informací získaných od firem, jejichž činnost s procesem bednění a odbedňovacích prací nějakým způsobem souvisí. Ať už se jedná o vývoj, prodej či pronájem různých typů systémového bednění či firem provádějící samotné bednění práce. U obou druhů systémového bednění bude nejprve stanovena cena pronájmu a rozdíly dále analyzovány. Zvýšená pozornost bude věnována také rozdílům hmotnosti, plochy pronajímaného bednění, jeho množství a také nákladům spojeným s dopravou materiálu. Na moderní kompozitní bednění je rovněž vypracována SWOT analýza, která poskytuje podklady pro formulaci rozvojových směrů a aktivit podnikových strategií a strategických cílů.

V přílohách 1 a 2 jsou pro představu zpracovány výkresy obou druhů bednění systémů.

5.1 Pronájem bednění

Tabulka 3 obsahuje výpis a počty nejpodstatnějších a nejobjemnějších prvků bednění. Některé prvky nejsou zahrnuty, neboť jejich počet je při nasazení obou druhů systémového bednění buďto téměř neměnný, nebo je jejich počet z hlediska nákladů zanedbatelný. Jedná se o závitové tyče, kloubové matky, různé typy vzpěr, jejich hlav a patek, dále také konzoly, můstky, čepy a závlače.

Tabulka 3 - Výpis prvků bednění

Kompozitní bednění		Rámové a čtyřprvkové bednění	
Sloupy	ks	Sloupy	ks
Panel 135 x 45	24	Panel 300 x 40	8
Panel 135 x 30	24	Panel 300 x 30	8
Vnější roh 135 x 10	48	Vnější roh	4
Spojka bednění	64	Klínový zámek	96
Stěna pohledová	ks	Stěna pohledová	ks
Panel 135 x 90	8	Panel 300 x 100	4
Panel 60 x 90	4	Klínový zámek	6
Spojka bednění	32		
Stěna opěrná	ks	Stěna opěrná	ks
Panel 135 x 90	48	Panel 300 x 100	22
Panel 135 x 60	16	Klínový zámek	60
Spojka bednění	256		
Stropní konstrukce	ks	Stropní konstrukce	ks
Panel 135 x 90	68	Stropní stojka	55
Panel 135 x 60	10	Podpěrná hlava křížová	55
Panel 135 x 45	4	Trojnožka	55
Panel 135 x 30	4	Dřevěný nosník 20/180	20
Panel 60 x 90	1	Dřevěný nosník 20/200	65
Panel 45 x 90	1	Dřevěný nosník 20/245	5
Spojka bednění	191	Dřevěný nosník 20/290	35
Stropní stojka	147	Dřevěný nosník 20/330	30
Podpěrná hlava	133	Překližka 2,5 x 0,5	68
Dodatečná hlava	14		

Zdroj tabulky: Vlastní práce

Z tabulky 3 můžeme vyvodit, že **kompozitního bednění** z technopolymeru je **pro realizaci** monolitické konstrukce potřeba **větší množství**. Plastové bednění je omezeno velikostí svých rozměrů, čímž pokulhává za klasickým ocelovým bedněním. Je to způsobeno tím, že materiál ABS nedosahuje takových pevností jako ocel. Ocel je výrazně pevnější materiál. Maximální dovolený tlak

čerstvého betonu je v případě ocelového bednění u stěn až 80 kN/m², u sloupů až 100 kN/m². To umožňuje bednit stěny do výšek až 9 m. Bednění z ABS odolá tlakům čerstvého okolo 60 kN/m². Největší panel z technopolymeru má rozměry 135 x 90 cm, což se projeví zvýšeným počtem bednicích panelů a spojek. Naopak největší bednicí panely z oceli v našem případě mají rozměry 300 x 100 cm, ovšem v praxi mohou dosahovat rozměrů až 330 x 270 cm. Avšak pokud budeme plastové bednění uvažovat jako ruční, jeví se malé rozměry panelů jako obrovská výhoda.

Jelikož je **z hlediska řízení nákladů důležité**, aby bylo na stavbě co nejmenší množství bednění, bylo potřeba **optimalizovat jeho nasazení**. Bednicí **práce jsou rozděleny do několika záběrů**, díky čemuž dojde ke **snížení počtu nasazeného bednění** a tím i **snížení nákladů na pronájem** bednění. Na projektu rodinného domu se nejprve zabetonují dva sloupy, poté následují další dva sloupy a pohledová stěna, po odbednění pohledové stěny se začíná bednit stěna opěrná. Po dokončení všech svislých konstrukcí se začíná s bedněním stropu.

Samotné výše denního nájmu je vypočtena v programu Microsoft Excel. **Denní nájem** se stanovuje početně, a to **procentuálně z vlastní ceny** jednotlivých prvků **bednění**. Počet procent je různý a je závislý na rychlosti opotřebení obrátkového materiálu. Z vytvořeného výkresu skladby bednění, bude nejprve stanovena plná cena prodejního materiálu (bednění), kterou pak upravíme opotřebením, čímž stanovíme výši měsíčního nájmu. Dle získaných informací z firem zabývajících se výrobou nebo pronájmem se u klasického systémového bednění, ať už **ocelového rámového nebo čtyřprvkového stropního**, je uvažováno teoretické **opotřebení** v rozmezí **5-8 %**. Avšak každý projekt je jedinečný, takže je nutné konkrétní možnosti řešit vždy individuálně. U kompozitního bednění bylo stanovení míry opotřebení značně problémové. Konkrétní data se nepodařilo získat, tudíž kalkulujeme pouze s odhadovanou hodnotou opotřebení.

Pomocí dat z firmy ÚRS jsem stanovil **dobu bednicích a odbedňovacích** prací na zhruba **50 dní**. Z toho bednění svislých konstrukcí trvá celkem 18 dní, bednění vodorovných konstrukcí pak 32 dní.

V následující tabulce 4 je stanovena cena za pronájem kompozitního bednění z technopolymeru na svislé i vodorovné konstrukce.

Tabulka 4 - Výpočet výše nájmu kompozitního bednění

Svislé i vodorovné konstrukce				
Popis	Počet kusů	Hmotnost prvku [kg]	Cena za kus [Kč]	Cena
Panel 135 x 90	68	24,9	7 500	510 000 Kč
Panel 135 x 60	16	17,1	5 400	86 400 Kč
Panel 135 x 45	12	14,2	4 200	50 400 Kč
Panel 135 x 30	12	9,4	3 900	46 800 Kč
Panel 60 x 90	4	11,9	4 300	17 200 Kč
Panel 45 x 90	1	4,5	2 100	2 100 Kč
Vnější Roh 135 x 10	24	2,3	2 600	62 400 Kč
Podpěrná hlava	133	0,9	760	101 080 Kč
Dodatečná hlava	14	1,5	800	11 200 Kč
Stropní stojka	147	15,6	2 512	369 264 Kč
Spojka	256	0,5	40	10 240 Kč
Prodejní cena pronajímaného materiálu				1 267 084 Kč
Plocha pronajímaného bednění				114 m ²
Celková hmotnost				4 887 kg
Pronájem bednění za 1 měsíc				88 696 Kč
Pronájem na 50 dní				147 826 Kč

Zdroj tabulky: Vlastní práce

Dle informací od výrobce a obrátkovosti tohoto plastového bednění je uvažováno pro výpočet ceny pronájmu na měsíc opotřebení jednotlivých prvků bednění 7 %. Z tabulky vyplývá, že cena pronájmu na jeden měsíc tohoto kompozitního bednění je 88 696 Kč. Celková plocha pronajímaného bednění je 114 m² a celková hmotnost je necelých 5 tun.

V tabulce 5 je stanovena výše měsíčního nájmu na stěnové rámové bednění včetně stropního bednění čtyřprvkového. Firma ULMA by dle dotazu ke stanovení výše nájmu, uvažovala s opotřebením 5,6 % u bednění potřebného k realizaci monolitické konstrukce.

Tabulka 5 - Výpočet výše nájmu klasického bednění

Svislé konstrukce				
Popis	Počet kusů	Hmotnost prvku [kg]	Cena za kus [Kč]	Cena
Panel 300 x 100	22	105,9	18 000	396 000 Kč
Panel 300 x 40	8	56,4	10 600	848 00 Kč
Panel 300 x 30	8	48,6	9 200	73 600 Kč
Vnější roh AE-300	8	27,1	6 900	55 200 Kč
Klínový zámek	140	5,3	1 650	231 000 Kč
Vodorovná konstrukce				
Popis	Počet kusů	Hmotnost prvku [kg]	Cena za kus [Kč]	Cena
Stropní stojka	55	2,3	2 310	127 050 Kč
Podpěrná hlava křížová	55	4,7	820	45 100 Kč
Trojnožka	55	11,2	2 600	143 000 Kč
Dřevěný nosník 20/180	20	8,3	600	12 000 Kč
Dřevěný nosník 20/200	65	9,2	670	43 550 Kč
Dřevěný nosník 20/245	5	11,3	820	4 100 Kč
Dřevěný nosník 20/290	35	13,3	970	33 950 Kč
Dřevěný nosník 20/330	30	15,2	1 100	33 000 Kč
Třívrstvá deska 2,5 x 0,5	68	13,7	600	40 800 Kč
Prodejní cena pronajímaného materiálu				1 323 150 Kč
Plocha pronajímaného bednění				244 m ²
Celková hmotnost				7 800 kg
Pronájem bednění za 1 měsíc				74 096 Kč
Pronájem na 50 dní				123 494 Kč

Zdroj tabulky: Vlastní práce

Jak můžeme vidět v tabulce 5, tak u ocelového bednění je celková hmotnost potřebného bednění 7 800 kg. Plocha pronajímaného bednění je 168 m². Pronájem bednění na jeden měsíc se započteným opotřebením jednotlivých prvků bednění je 74 096 Kč.

Pro lepší přehled výše stanovených nájmů jsou výsledná data zpracována do tabulky 6 pod textem.

Tabulka 6 – Cena za pronájem bednění na 50 dní

Materiál bednění	Technopolymer	Ocel + dřevo
Cena za pronájem bednění na 50 dní	147 826 Kč	123 494 Kč

Zdroj tabulky: Vlastní práce

Z tabulky zjistíme, že výše nájmu bednění z technopolymeru je vyšší než u klasického ocelového rámového bednění. Příčinou je nižší životnost a obrátkovost plastových prvků bednění. Jak už bylo řečeno, u kompozitního bednění je opotřebení výrobcem stanoveno v mezích od 5 do 8 %, u ocelového je pak opotřebení výrazně nižší. Faktem je, že bednění z technopolymeru je novinka, tudíž obrátkovost bednění je dle mého názoru spíše odhadovaná. Aby bylo možné stanovit objektivní obrátkovost tohoto bednění jsou potřeba měsíce nasazení tohoto bednění do praxe.

5.2 Doprava bednění

Tato podkapitola je věnována nákladům na manipulaci s bedněním.

5.2.1 Mimostaveništní doprava

Doprava jednotlivých prvků bednění v ceně nájmu není započítána. Dotazovaná firma ULMA si za dopravu autem s vlekem 200 m², ať už stropního čtyřprvkového nebo stěnového rámového bednění účtuje v průměru 37 Kč/km. Ovšem cenu za dopravu je ovlivňována i trasou, druhem nákladního automobilu nebo hmotností nákladu. Pro lepší přehled jednotlivých ploch pronajímaného bednění jsou výsledná data zpracována do tabulky 7.

Tabulka 7 – Plocha pronajímaného bednění

Materiál bednění	Technopolymer	Ocel + dřevo
Plocha pronajímaného bednění	114 m ²	244 m ²

Zdroj tabulky: Vlastní práce

Jak můžeme vidět v Tabulce 7, plastové bednění se vyznačuje výbornou koncepcí. Oproti klasickému ocelovému bednění se téměř většina systémových konstrukčních dílů může použít jak na svislé, tak na vodorovné konstrukce. V případě kompozitního bednění z technopolymeru, by se dala očekávat úspora nákladu na dopravu, popřípadě i úspora prostor pro skladování, jelikož jsme schopni veškerý materiál naložit pouze na jedno auto s vlekm.

Tabulka 8 - Hmotnost pronajímaného bednění

Materiál bednění	Technopolymer	Ocel + dřevo
Hmotnost pronajímaného bednění	4,9 tun	7,8 tun

Zdroj tabulky: Vlastní práce

Co se týče hmotnosti, jak prezentuje tabulka 8 je rozdíl mezi ocelovým bedněním a kompozitním bedněním enormní, skoro 3 tuny. Což představuje 60% nárůst. Klasické stěnové rámové bednění ocelové a čtyřprvkové stropní bednění se vyznačuje výrazně vyšší hmotností. To se projeví v nákladech na dopravu.

Při větší hmotnosti je spotřeba nákladního automobilu mnohonásobně vyšší, čímž dochází i k vyššímu uvolňování CO₂ do ovzduší. Podle logistické firmy LR Trans s.r.o. se spotřeba paliva na 100 kilometrech může při rozdílu 3 tun zvýšit až o 7 litrů. Dle webu www.ekoblog.cz se při navýšení spotřeby nákladního automobilu s vlekm zvýší produkce škodlivých emisí o 19 %. [54, 60]

5.2.2 Vnitrostaveništní doprava

Aby bylo možné vyčíslit úsporu nákladů na pronájem jeřábu při použití systémového bednění, bylo poptáno nezávazně několik firem pronajímající těžkou mechanizaci. Při pronájmu věžového jeřábu vstupuje do nákladů k dennímu nájmu také pojištění, doprava zařízení na stavbu a následně ze stavby, projekt SBP, revize ZZ a elektra, montáž a demontáž zařízení, nájem rádiového ovladače a mzda kvalifikované obsluhy jeřábu. Pro představu jsou data zpracována do tabulky 9 pod textem.

Tabulka 9 - Náklady na věžový jeřáb

Nájem jeřábu	2 550	Kč/den
Pojištění	2 500	Kč/měsíc
Doprava na stavbu	26 000	Kč
Projekt SBP	1 000	Kč
Montáž	32 000	Kč
Revize	12 000	Kč
Demontáž	32 000	Kč
Doprava ze stavby	26 000	Kč
Nájem rádiového ovladače	1 500	Kč/měsíc
Obsluha jeřábu	240	Kč/h

Zdroj tabulky: Vlastní práce

Avšak vzhledem k rozsahu našich bednicích a odbedňovacích prací bude mechanizace ve formě autojeřábu vhodnější. Jak prezentuje tabulka 10 pod textem, při pronájmu automobilového jeřábu, vstupuje do nákladů denní nájem zařízení a jeho doprava na stavbu.

Tabulka 10 - Náklady na autojeřáb

Nájem jeřábu	900	Kč/den
Doprava	40	Kč/km

Zdroj tabulky: Vlastní práce

Pro vyčíslení úspory nákladů budeme uvažovat, že autojeřáb se bude na stavbu dopravovat ze sídla firmy vzdáleného 7,5 km. Pomocí dat z firmy ÚRS byla stanovena doba bednicích a odbedňovacích prací na 50 dní. Z toho bednění svislých konstrukcí trvá celkem 18 dní, bednění vodorovných konstrukcí pak 32 dní. Jeřáb uvažujeme pouze u bednění a odbednění stěn a sloupů. U bednění stropní konstrukce není těžká mechanizace vyžadována. V tabulce 11 pod textem jsou vypočítány náklady na pronájem jak věžového, tak automobilového jeřábu.

Tabulka 11 - Výpočet nákladů na pronájem jeřábu

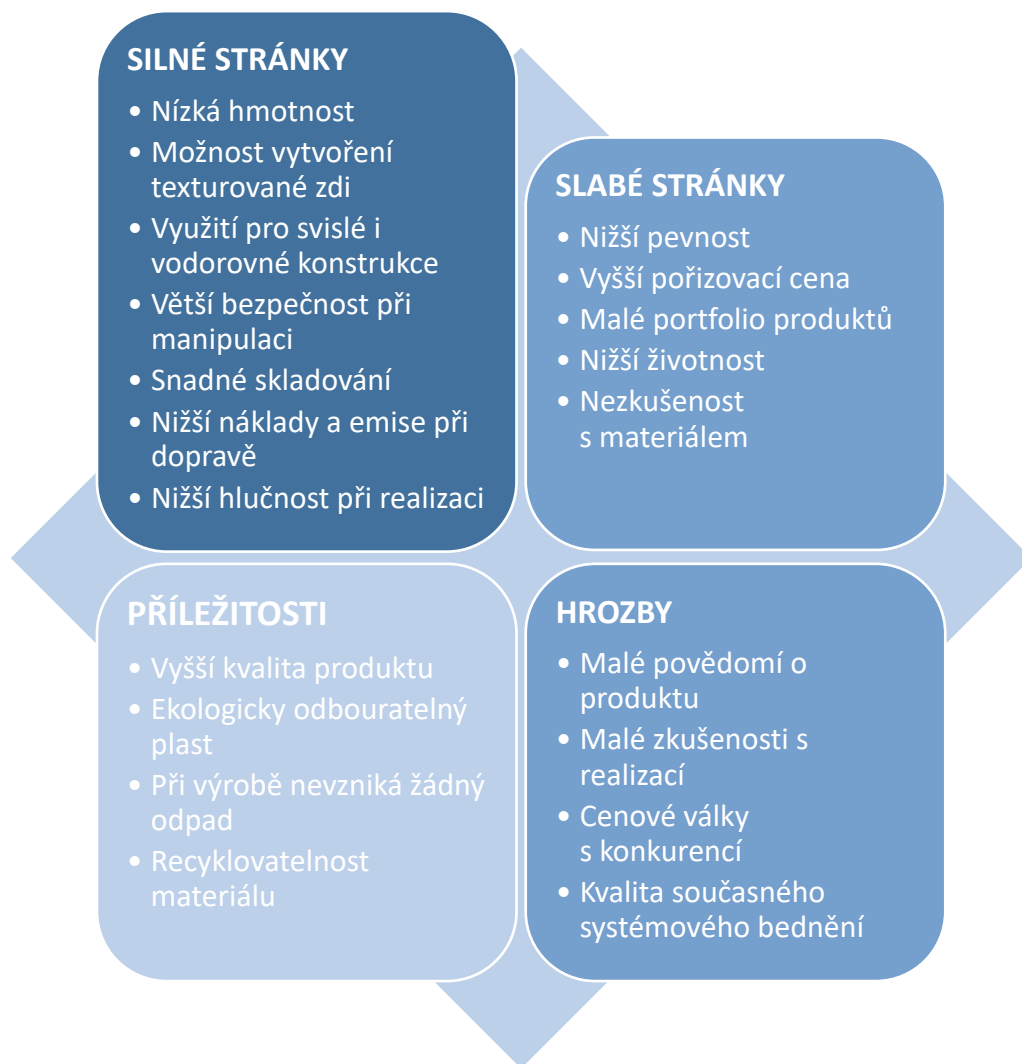
Typ mechanizace	Den	18 dní	Celkem za pronájem
Věžový jeřáb			
Nájem	4 604 Kč	82 872 Kč	211 872 Kč
Doprava, ostatní náklady		129 000 Kč	
Autojeřáb			
Nájem	900 Kč	16 200 Kč	27 000 Kč
Doprava za 15 km	600 Kč	10 800 Kč	

Zdroj tabulky: Vlastní práce

Práce s lehkým systémovým bedněním z technopolymeru nevyžaduje těžkou mechanizaci. Díky tomu se sníží celkové náklady na realizaci stavby. Z tabulky 11 vyplývá, že při nasazení klasického systémového bednění jsou náklady na autojeřáb 27 000 Kč. Věžový jeřáb je zde uveden pouze pro představu enormního nárůstu vedlejších nákladů. Uvažovat ho na náš projekt by nebylo efektivní. Věžové jeřáby jsou vhodné pro velké stavby s dlouhou dobou trvání realizace. To se s nástupem tohoto lehkého systémového bednění z technopolymeru může stát minulostí. Začnou se navrhovat menší jeřáby, které nemusí disponovat tak velkou únosností. U menších a středních staveb při nasazení plastového bednění bude pravděpodobně jeřábová technika nutná pouze při provádění betonářských prací. Ovšem i v dnešní době se můžeme setkat na stavbě s autodomíchávačem se zabudovaným čerpadlem betonu nebo jinými zařízeními na dopravu betonové směsi přímo do konstrukcí. V blízké budoucnosti se tak může stát, že při výstavbě malých a středních staveb se s jeřáby prakticky nesetkáme.

5.3 SWOT analýza

Ke zhodnocení vnitřních a vnějších faktorů ovlivňujících úspěšnost produktu, je zde zpracována na toto moderní kompozitní bednění SWOT analýza.



5.3.1 Silné stránky

Mezi silné stránky bezpochyby můžeme zařadit například nízkou hmotnost. Ta se jeví jako jedna z největších výhod, jelikož práce s bedněním nevyžaduje těžkou mechanizaci, čímž se zvýší bezpečnost práce na staveništi. Dle ČSÚ je jako příčina zranění uveden právě pád břemene a materiálů téměř ve 34 %. S nižší hmotností se snižují i náklady na dopravu a skladování. Jak popisuje kapitola 4.3.5 další silnou stránkou inovativního kompozitního bednění je možnost vytvoření texturované zdi, čímž jsme schopni dosáhnout dekorativního či ještě realističtějšího vzhledu. S novou koncepcí lze s plastovým bedněním

realizovat jak svislé, tak i vodorovné konstrukce. Mezi silnou stránku můžeme zařadit i nižší hlučnost při práci s plastovým bedněním, což umožní realizaci v městské zástavbě.

5.3.2 Slabé stránky

Slabou stránkou plastového bednění je nižší pevnost jednotlivých prvků bednění. To komplikuje realizaci vysokých konstrukcí. Portfolio produktů je malé. Bednění neumožňuje realizaci kruhových staveb, ani jednostranných stěn. Nezkušenost s materiálem, jakožto i jeho životnost je rovněž slabou stránkou. Plastové bednění vyráběné metodou vstřikování je poměrně nová technologie a pro stanovení objektivní životnosti nebo velikosti opotřebení při jeho využití jsou potřeba ještě roky nasazení do praxe.

5.3.3 Příležitosti

Jako hlavní příležitost produktu můžeme označit fakt, že při jeho výrobě nevzniká žádný odpad. Kompozitní bednění lze rovněž snadno recyklovat a použít pro výrobu nových dílců, navíc v současnosti je plast jedinou udržitelnou alternativou dřeva a lepenky. Velkou příležitostí, a to z hlediska environmentálních aspektů by mohla být v budoucnosti výroba bednění z ekologicky odbouratelných plastů. Příležitostí kompozitního bednění je i vyšší kvalita výsledné konstrukce, jelikož poškozený bednicí plášť lze snadno vyměnit během několika minut. Touto možností v současnosti nejpoužívanější bednicí systémy nedisponují.

5.3.4 Hrozby

Jak už bylo řečeno, kompozitní bednění je poměrně nová technologie. Tudiž velkou hrozbou pro výrobek je malé povědomí zákazníků o produktu a nezkušenost pracovníků s tímto inovativním bedněním. Vlivem vysoké poptávky na trhu a konkurenčního boje mezi firmami zabývající se výrobou bednění disponují současné bednicí systémy vysokou technologickou úrovní. To představuje největší hrozbu.

6 VYHODNOCENÍ

V této kapitole jsou shrnuty veškeré dosavadní poznatky o tématu. Výsledky jsou zhodnoceny a následně interpretovány.

6.1 Náklady na pronájem

Ze získaných dat od firem, jejichž předmětem podnikání je pronájem či prodej systémového bednění, byl proveden návrh bednění na objektu rodinného domu a početně stanovena výše jednotlivých nájmů. U plastového kompozitního bednění je stanovena cena nájmu 25,9 Kč/m²/den, u ocelového pak 10,1 Kč/m²/den. Při analýze bylo zjištěno, že příčinou rozdílu je jednak množství, tak i obrátkovost samotných bednicích prvků. Zajímavý je i fakt, že cena prvků je po přepočtu z jednotlivých ploch panelů na m² téměř totožná. Obrátkovost u prvků z oceli je vyšší než u prvků z technopolymeru. U ocelových prvků uvažujeme při výpočtu nájmu opotřebení 6,5 %. Toto procento odpovídá skutečnému opotřebení. U plastového bednění uvažujeme dle výrobce s teoretickým 7% opotřebením. Z pohledu pořizovací ceny bednění se tedy to kompozitní jeví jako nevýhodné, avšak jedná se o novou technologii a aby bylo možné stanovit objektivní obrátkovost prvků z tohoto materiálu jsou potřeba měsíce nasazení bednění do praxe.

Zápory

Počítáme pouze s odhadovaným opotřebením

Vyšší cena nájmu kompozitního bednění

Nižší životnost prvků kompozitního bednění

6.2 Plocha bednění

Co se týče množství jednotlivých prvků bednění, je pro realizaci monolitické konstrukce našeho objektu potřeba kompozitního podstatně víc kusů. Avšak koncept systémového bednění z technopolymeru je inovativní. S nasazením minimálního počtu bednění lze realizovat jak vodorovné, tak svislé konstrukce. Konkrétně na našem projektu rodinného domu je potřeba plastového bednění

celkem 114 m², ocelového (včetně stropního čtyřprvkového) 244 m². Jedná se o rozdíl 130 m². V procentech vyjádřen nárůstem o 114 %. Tento koncept bednění z technopolymeru umožňuje snížit jednak náklady na dopravu tak i náklady na skladování. Menší rozměry a nízká hmotnost umožňují nespočet variant nkládky na nákladní automobil a nespočet variant uskladnění materiálu na staveništi. Dle informací firem poskytující prodej či pronájem bednění lze reálně na nákladní automobil s vlekem naložit přibližně 200 m² bednění. Z toho plyne, že na dopravu ocelového bednění na naši stavbu budeme nuceni využít, kromě jednoho auta s vlekem jako je to u plastového, i auto druhé.

Klady

Kompozitního bednění je potřeba o 130 m² méně.

S minimálním počtem lze bednit svislé i vodorovné konstrukce

Úspora nákladů na dopravu, snadné uskladnění materiálu

6.3 Náklady na dopravu

Systémové bednění z tohoto kompozitního materiálu je koncipováno jako ruční, a proto je navrženo s výrazně nižší hmotností. Konkrétně na projektu našeho rodinného domu je při srovnání použití obou druhů bednění rozdíl hmotnosti prvků potřebných k realizaci monolitických konstrukcí skoro 3 tuny. Jedná se o nárůst hmotnosti o neuvěřitelných 60 %. Nejtěžší plastový prvek váží necelých 25 kg. Práce s klasickým ocelovým bedněním je fyzicky náročná a vyžaduje těžkou mechanizaci. Pomocí dat z firmy ÚRS jsem stanovil dobu bednění a odbedňovacích prací na 50 dní. Z toho bednění svislých konstrukcí trvá celkem 18 dní, bednění vodorovných konstrukcí pak 32 dní. Jeřáb uvažujeme pouze u bednění a odbednění stěn a sloupů. U bednění stropní konstrukce není těžká mechanizace vyžadována. Z tabulky 10 vyplývá, že při nasazení klasického rámového bednění ocelového jsou náklady na autojeřáb 27 000 Kč. Náklady na věžový jeřáb jsou zde vyčísleny pouze pro představu enormního nárůstu v případě jeho použití. Uvažovat ho na projekt rodinného domu našeho rozsahu není efektivní. Věžové jeřáby jsou vhodné pro velké stavby s dlouhou dobou trvání realizace. S nástupem lehkého bednění z tohoto kompozitního materiálu je reálné, že se začnou navrhovat menší jeřáby, které nebudou muset disponovat

tak velkou únosností. U menších a středních staveb bude pravděpodobně jeřábová technika nutná pouze při provádění betonářských prací. Ovšem i v dnešní době se v praxi setkáváme s autodomíchávači se zabudovaným čerpadlem betonu nebo jinými zařízeními na dopravu betonové směsi přímo do konstrukcí. V blízké budoucnosti se tak může stát, že při výstavbě malých a středních staveb se s jeřáby prakticky nesetkáme.

Nízká hmotnost se opravdu jeví jako obrovská výhoda i z hlediska environmentálních aspektů. Podle logistické firmy LR Trans se při větší hmotnosti nákladu, výrazně zvýší spotřeba nákladního automobilu. Při našem nárůstu 3 tun se může spotřeba zvýšit až o 7 litrů na 100 km. Nehledě na fakt, že při vyšší hmotnosti dochází i k vyššímu uvolňování CO₂ do ovzduší. Konkrétně dle webu www.ekoblog.cz se produkce škodlivých emisí zvýší skoro o 19 %.

Klady	Nízká hmotnost bednění
	Práce s bedněním nevyžaduje těžkou mechanizaci
	Úspora nákladů na dopravu
	Snížení produkce škodlivých emisí při dopravě

6.4 Bezpečnost práce

S příchodem lehkého kompozitního bednění, jakožto i faktu, že přítomnost jeřábu je při jeho nasazení na stavbě eliminována, je zredukován vznik pracovních úrazů. Nebezpečná nebo špatná manipulace s různými typy břemen je totiž příčinou nespočtu tělesných potíží, které mohou vyústit v trvalá onemocnění svalově kosterního aparátu. V roce 2017 byl dle ČSÚ ve 34 % případů uveden jako zdroj poškození zdraví právě špatná manipulace s břemeny a materiálem. Inovativní bednění z technopolymeru může díky své hmotnosti a koncepci snížit riziko zranění. Práce s kompozitním bedněním je díky jeho koncepci méně unavující a vysilující a nevyžaduje vysoké požadavky na odbornost pracovníků provádějící monolitickou konstrukci, čímž se zvýší i produktivita práce.

Hluk se řadí z dlouhodobého hlediska mezi největší rizika na stavbě. Bouchání, sbíjení, ale také zvuky nákladních automobilů a jeřábů. To často vede k porušení hygienických limitů, konkrétně na stavbách k nim dochází nejčastěji.

Ať už občané nebo samotní dělníci poukazují na zdravotní rizika s tímto spojená. Zvýšená hladina hluku může v dlouhodobém horizontu u člověka vyvolat například psychické poruchy, poruchy spánku, šumění v uších nebo může vést k úplné ztrátě sluchu. Plastové systémové bednění má využívat minimum kovových prvků. Kromě samotných panelů s bednicím pláštěm je z inovativního kompozitního materiálu na bázi technických polymerů vyrobena i většina příslušenství. Jako jsou například různé druhy spojek, zámků, vyrovnávacích závor, podpěrných hlav, stěnových a stropních držáků, dále také úchyty pro jeřáb, stabilizátory a další. Proto je při procesu realizace monolitických konstrukcí využití tesařského kladiva nebo jiného nářadí na stavbě minimalizováno. Díky snížené hlučnosti při provádění bednicích a odbedňovacích prací je bednění z technopolymeru vhodné nasadit především u staveb nacházejících se v centrech měst. Avšak nižší hlučnost ocení i samotní dělníci na stavbě.

Klady	Koncepce redukuje vznik pracovních úrazů
	Manipulace s bedněním je méně náročná a vysilující
	Zvýšení produktivity práce
	Nižší hlučnost při práci s bedněním

6.5 Možnosti využití

Ocelové stěnové rámové bednění se vyznačuje vyšší pevností. Při využití jsme výrazně méně omezeni výškou, tloušťkou či tvarem realizované monolitické konstrukce. Maximální dovolený tlak čerstvého betonu je dle výrobce v případě bednění stěn až 80 kN/m², u sloupů až 100 kN/m². Vlivem jeho hojného využívání a konkurenčního boje mezi firmami zabývající se výrobou, prodejem či pronájmem bednění je ocelové systémové bednění na vysoké technologické úrovni. S využitím různých druhů systémů je dnes v praxi možné bednit vysoké mostní pilíře, mostovky, přehrady, nebo jiné například kruhové konstrukce jako jsou čističky ČOV s využitím kruhového bednění. Bednění z technopolymeru je nová technologie, která vyžaduje ještě mnoho úprav a inovací na základě informací získaných několikaletým nasazením do praxe. Obrátkový materiál z ABS odolá tlakům čerstvého okolo 60 kN/m², čímž je bednění některých

konstrukcí problém. V současné době je možné toto bednění využít pouze pro bednění stropní konstrukce, stěn, a sloupů s kvadratickým nebo kruhovým průřezem. Realizace kruhových staveb, vysokých konstrukčních prvků nebo jednostranných stěn není možná.

Nezměrná výhoda, se kterou přichází plastové bednění je možnost vytvoření texturované monolitické stěny. Klasický hladký bednicí plášť lze totiž zaměnit za plášť s dekorativním vzorem, texturou. Ten po betonáži a následném odbednění konstrukčního prvku zůstává obtištěn na povrchu železobetonové konstrukce. To otevírá nové možnosti právě při realizaci pohledových konstrukcí, přičemž jsme poměrně snadno schopni dosáhnout ještě realističtějšího a kreativního vzhledu. Nyní firmy nabízí textury v podobě dřeva, zdiva či oblázků horského potoka. Možnosti jsou ovšem vzhledem k ceně bednicího pláště v podstatě neomezené.

Klady	Možnost vytvoření texturované stěny Možnost nasazení i v nepřístupném terénu
Zápory	Nízká pevnost kompozitního bednění Nelze bednit kruhové konstrukce, vysoké konstrukční prvky Nelze využít pro bednění jednostranných stěn Nižší životnost prvků kompozitního bednění

6.6 Oprava poškozeného bednění

Stavba je drsné prostředí a často se stává, že kontaktní plocha bednicího pláště je poškozena a již není možné realizovat monolitickou konstrukci v požadované kvalitě. Ovšem výhodou bednění z technopolymeru je i fakt, že bednicí plášť je možné vyměnit přímo na stavbě během několika minut bez použití speciálního nářadí a odborných znalostí, díky čemuž může proces bednění pokračovat jen s mírným časovým zdržením. Náhradní plastová deska je k dispozici pro všechny velikosti panelů a upevňuje se pouze několika šrouby. U rámového bednění ocelového je výměna dřevěné překližky na stavbě prakticky nemožná. Výměna pak je finančně a časově náročná a ve většině případů je nutné k výměně vyzvat firmu pronajímající bednění.

6.7 Udržitelnost

Každá nová technologie by měla být navržena s ohledem na životní prostředí. Při výrobě bednění z plastu ABS metodou vstřikováním nevzniká žádný odpad, celá použitá surovina se zpracovává na produkt. Navíc poškozené nebo zničené prvky, jež už nemohou plnit bezvadně svoji funkci, mohou být plně recyklovány a dále použity pro výrobu nových prvků. Ale možnosti recyklace jsou u plastu ABS omezeny, podle vědeckých studií nelze použít 100 % recyklovaného materiálu. Pro zachování mechanických vlastností je potřeba minimálně 15 % granulových přísad, čímž je proces recyklace možný až po 60 cyklů. Sténové ocelové rámové bednění se sice vyznačuje delší životností, avšak recyklace je značně problémová. Také při zpracování železné rudy uniká enormní množství škodlivých emisí do ovzduší. Jedná se o zhruba 2 tuny oxidu uhličitého na tunu kovu. Právě kvůli vysokému znečišťování ovzduší, byla Čína letos nucena snížit svou produkci oceli, což vedlo k růstu ceny od ledna 2018 až o 3,42 %. Dle expertů budou ceny růst i v následujících letech. Čtyřprvkové stropní bednění je tvořeno převážně dřevěným materiálem. Poškozené bednění končí ve spalovnách odpadu, protože oprava často není možná. Podle Českého statistického úřadu stavební odpady tvoří 61 % celkové produkce. Celosvětová roční spotřeba dřeva je 1,5 miliardy m³, z toho se ve stavebnictví využije skoro 60 %. V posledních čtyřech desetiletích bylo vytěženo skoro 60 milionů hektarů deštného pralesa, což je pro představu rozloha státu Francie. S neustálým odlesňováním vznikají vážné problémy jako jsou například eroze, sesuvy, sucha, ztráty biodiverzity a v neposlední řadě v současnosti nejzávažnější problém globální oteplování. Materiál ABS je proto v současnosti jedinou udržitelnou alternativou dřeva a lepenky.

Klady	Při výrobě kompozitního bednění nevzniká žádný odpad Menší produkce škodlivých emisí při výrobě bednění Poškozené bednění lze využít pro výrobu nových dílů Proces recyklace je možný až po 60 cyklů Materiál ABS je udržitelná alternativa dřeva
-------	---

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo analyzovat potenciální využití jednotlivých pokročilých technologií ve stavebnictví. Jako námět bylo zvoleno inovativní systémové bednění z kompozitního materiálu. Vybraná moderní technologie byla posouzena z hlediska celkové výhodnosti.

V praktické části je analyzováno moderní kompozitní bednění vyráběné metodou vstřikování. Aby bylo možné poukázat na efektivnost této moderní technologie byla zpracována simulace návrhu bednění na projektu rodinného domu, kde je výkres bednění vytvořen jednak s využitím novodobého kompozitního bednění, tak s využitím klasického systémového bednění, které je v současnosti nejpoužívanější. Práce je zaměřena na rozdílné náklady související s pořízením a pronájmem jednotlivých prvků bednění, nákladům na dopravu, a v neposlední řadě také udržitelnosti a recyklovatelnosti materiálů. Ke zhodnocení vnitřních a vnějších faktorů ovlivňujících úspěšnost produktu, je v práci zpracována na toto moderní kompozitní bednění také SWOT analýza.

Systémové bednění kovové v současné době trpí vysokými pořizovacími náklady, velkou manipulační hmotností a snadným znečištěním zaschlým betonem. Nehledě na fakt, že s ohledem na životní prostředí jsou materiály jako ocel a dřevo neudržitelné. Bednění vyráběné metodou vstřikování představuje ekologický výrobek i koncept. Díky kompozitnímu materiálu může být při výrazném poškození či po uplynutí doby životnosti recyklován a znovu použit pro výrobu nových panelů. Tímto způsobem je dosaženo udržitelné ekonomiky s téměř uzavřenou smyčkou. Plast je proto v současnosti jedinou udržitelnou alternativou dřeva a lepenky. Nynější činnost moderní společnosti je směřována k minimalizaci dopadů na životní prostředí. S přihlédnutím k současnému vývoji výrobní technologie a zpracování plastových materiálů, se pro výrobu bednění dá v budoucnu očekávat využití recyklovaného plastového materiálu, čímž se sníží ekologická zátěž. Využitím aditivní výroby, tedy metody vstřikování plastů se otevírají ve stavebnictví nové možnosti.

Seznam použité literatury

- [1] *Přehled technologií 3D tisku* [online]. Nový Jičín, Ostrava: dk metal prominent s.r.o., 2018, [cit. 29.12.2018]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/Prehled-technologie-3D-tisku>
- [2] LIPSON, Hod a Melba KURMAN. *Fabricated: the new world of 3D printing*. Indianapolis, Indiana: John Wiley, [2013]. ISBN 978-1-118-35063-8.
- [3] GIBSON, I., D. W. ROSEN a B. STUCKER. *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing*. Second edition. London: Springer, [2015]. ISBN 978-1-4939-2112-6.
- [4] HAGER, Izabela. *3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction?* [online]. Cracow University of Technology, 2016, [cit. 29.12.2018]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/305822454_3D_Printing_of_Buildings_and_Building_Components_as_the_Future_of_Sustainable_Construction
- [5] LADRA, Josef. *Technologie staveb 11: realizace železobetonové monolitické konstrukce budov*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02487-3.
- [6] LANSARD, Martin. *15 construction 3D printers available in 2018* [online]. Aniwaa, 2018, [cit. 26.12.2018]. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/house-3d-printer-construction/>
- [7] RUSSON, Mary-Ann. *World's First 3D Printed House under Construction in Amsterdam* [online]. United Kingdom: IBTimes UK – Technology, 2014, [cit. 26.12.2018]. Dostupné

z: <https://www.ibtimes.co.uk/worlds-first-3d-printed-house-takes-shape-amsterdam-1440381>

- [8] SEVENSON, Brittney. *Shanghai-based WinSun 3D Prints 6-Story Apartment Building and an Incredible Home* [online]. 3DPrint.com, 2015, [cit. 27.12.2018]. Dostupné z: <https://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/>
- [9] WILLIAMS, Adam. *World's first 3D-printed office building completed in Dubai* [online]. New Atlas – New Technology & Science News, 2016, [cit. 26.12.2018]. Dostupné z: <https://newatlas.com/3d-printed-office-dubai-completed/43522/>
- [10] *3D PRINTED OFFICE - DUBAI FUTURE FOUNDATION* [online]. Copyright © Dubai Future Foundation, [cit. 26.12.2018]. Dostupné z: <http://www.officeofthefuture.ae/#>
- [11] DAVIES, Sam. *3D Printhuset establishes COBOD International to manufacture and sell BOD2 modular construction printer* [online]. TCT Magazine, 2018, [cit. 27.12.2018]. Dostupné z: <https://www.tctmagazine.com/3d-printing-news/3d-printhuset-cobod-international-bod2-construction-printer/>
- [12] *PERI buys stake of Danish 3-D concrete printing firm* [online]. Canada Construct Connect: DCN News Services, 2018, [cit. 27.12.2018]. Dostupné z: <https://canada.constructconnect.com/dcn/news/technology/2018/11/peri-buys-stake-danish-3-d-concrete-printing-firm>
- [13] JAMIE, D. *Ja3D Printing: The Future of Construction* [online]. 3Dnatives Meilleur Prix, Comparatif, 2018, [cit. 28.12.2018]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-construction-310120184/>

- [14] ČERMÁK, Erik. *Deset domků postaveno za jeden den pomocí obří 3D tiskárny* [online]. AsianStyle.cz., 2014, [cit. 28.12.2018]. Dostupné z: <http://www.asianstyle.cz/zajimavosti/12951-deset-domku-postaveno-za-jeden-den-pomoci-obri-3d-tiskarny>

- [15] *3D TISK, PRINCIPY, TECHNOLOGIE* [online]. ABC 3D, 2014, [cit. 29.12.2018]. Dostupné z: <https://www.abc3d.cz/o-3d-tisku-neprehlednete/115-3d-tisk-principy-technologie>

- [16] THABET, Walid., SHIRATUDDIN, Mohd Fairuz a BOWMAN, Doug. *Virtual Reality in Construction: A Review. Engineering Computational Technology* [online]. ResearchGate, 2002, [cit. 30.12.2018]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/234797725_Virtual_Reality_in_Construction_A_Review

- [17] BRDIČKA, Bořivoj. *Virtuální realita* [online]. Praha: Katedra informačních technologií a technické výchovy, 1995, [cit. 30.12.2018]. Dostupné z: <http://it.pedf.cuni.cz/~bobr/ucspoc/virtreal.htm>

- [18] ŠKARKA, Matěj. *Virtuální realita ve stavebnictví* [online]. Revit 3D blog, 2017, [cit. 30.12.2018]. Dostupné z: <https://www.revit3dblog.cz/virtualni-realita-ve-stavebnictvi/>

- [19] CHROMÍK, Róbert a Štefan KLEIN. *Strojní zařízení pro stavby: stavební mechanizace: pomocné konstrukce: eurokatalog stavebních výrobků*. Brno: Art-Projekt, 2003. Stavební tabulky. ISBN 80-239-0172-9.

- [20] KRÁL, Pavel a Jaroslav HRÁZSKÝ. *Použití velkoplošných materiálů na betonářská bednění*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 2004. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. Facultas Silviculturae et Technologiae Ligni. ISBN 80-7157-769-3.

- [21] *Stěnové bednění* [online]. Jesenice u Prahy: PERI Česká republika – bednění, lešení, služby, 2018, [cit. 30.10.2018]. Dostupné z: <https://www.peri.cz/produkty/bedneni/stenove-bedneni.html>
- [22] *Sloupové bednění* [online]. Jesenice u Prahy: PERI Česká republika – bednění, lešení, služby, 2018, [cit. 30.10.2018]. Dostupné z: <https://www.peri.cz/produkty/bedneni/sloupove-bedneni.html>
- [23] *591/2006 Sb. Nařízení vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích* [online]. Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění, 2016, [cit. 17.12.2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-591>
- [24] SVOBODA, L. a kol. *Stavební hmoty*. 3. vyd. elektronické Praha: Luboš Svoboda, 2013. 950 s. ISBN 978-80-260-4972-2.
- [25] Česká tisková kancelář. *WSA: Světová poptávka po oceli letos i příští rok poroste* [online]. Praha: Patria.cz, 2018, [cit. 21.11.2018]. Dostupné z: <https://www.patria.cz/zpravodajstvi/3958707/wsa-svetova-poptavka-po-oceli-letos-i-pristi-rok-poroste.html>
- [26] TRADING ECONOMICS, *Steel price* [online]. Trading economics: [tradingeconomics.com](https://d3fy651gv2fhd3.cloudfront.net/embed/?s=Steel&v=20181114161300&d1=19180101&d2=20181231&h=300&w=600), 2018, [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: <https://d3fy651gv2fhd3.cloudfront.net/embed/?s=Steel&v=20181114161300&d1=19180101&d2=20181231&h=300&w=600>
- [27] ALFUN. *Vývoj cen ocelí* [online]. Bruntál: ALFUN metal service center, 2018, [cit. 21.11.2018]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/aktuality/1548-vyvoj-cen-oceli>
- [28] Doka Industrie GmbH. *Dokaflex 1-2-4* [online]. Amstetten: Doka GmbH, 2008, [cit. 11.12.2018]. Dostupné z: https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999776015_2008_11_online.pdf

- [29] Doka Industrie GmbH. *Rámové bednění Frami Xlife* [online]. Amstetten: Doka GmbH, 2015, [cit. 11.12.2018]. Dostupné z: https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999803015_2015_10_online.pdf
- [30] Doka Industrie GmbH. *Sloupové bednění Framax Xlife* [online]. Amstetten: Doka GmbH, 2015, [cit. 11.12.2018]. Dostupné z: https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999808815_2015_02_online.pdf
- [31] Stavební investorské noviny. *Novinka ve výrobě bednění PERI – Univerzální bednění DUO pro stěny, sloupy a stropy* [online]. Horní Vršava: SNI s.r.o., 2016, [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/4305-novinka-ve-vyrobe-bedneni-peri-univerzalni-bedneni-duo-pro-steny-sloupy-a-stropy>
- [32] TRIBON. *ABS (akrylonitril-butadien-styren)* [online]. Brno: Tribon s.r.o., 2012, [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: http://www.georgefischer.cz/produkty/materialy/abs-akrylonitril_butadien_styren
- [33] SITTECH. *ABS Akrylonitrilbutadienstyren* [online]. Most: SITTECH CZ s.r.o., 2000, [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: <http://www.sittech.cz/abs-akrylonitrilbutadienstyren>
- [34] BREWSTER, Signe. *It's about to get easier to 3D print with recycled plastic* [online]. USA: Gigaom, Knowingly Corporation, 2013, [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: <https://gigaom.com/2013/10/08/its-about-to-get-easier-to-3d-print-with-recycled-plastic/>
- [35] *ABS Plastic (ABS): Production, Market, Price and its Properties* [online]. India: Plastics Insight, 2018, [cit. 05.12.2018]. Dostupné z: <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/abs-plastic/>

- [36] ICIS News. *Asia ABS steady after recent decline, near term improvement likely* [online]. Karlsruhe: ICIS Explore, 2018, [cit.05.12.2018]. Dostupné z: <https://www.icis.com/explore/resources/news/2018/08/02/10247269/asia-abs-steady-after-recent-decline-near-term-improvement-likely/>
- [37] ICIS News. *Asia ABS prices rise as supply tightens, buyers may resist* [online]. Karlsruhe: ICIS Explore, 2017, [cit. 05.12.2018]. Dostupné z: <https://www.icis.com/explore/resources/news/2017/07/19/10125248/asia-abs-prices-rise-as-supply-tightens-buyers-may-resist/>
- [38] *Slabá poptávka Asie Cena pryskyřice ABS nižší* [online]. Liao-ning: Liaoning EO Technology, 2018, [cit. 05.12.2018]. Dostupné z: <http://cz.eoplasticpipes.com/info/weak-demand-asia-abs-resin-price-lower-26438651.html>
- [39] ICIS News. *Asia ABS steady after recent decline, near term improvement likely* [online]. Karlsruhe: ICIS Explore, 2018, [cit.05.12.2018]. Dostupné z: <https://www.icis.com/explore/resources/news/2018/08/02/10247269/asia-abs-steady-after-recent-decline-near-term-improvement-likely/>
- [40] PERI Česká Republika. *DUO lehké rámové bednění* [online]. Jesenice u Prahy: PERI s.r.o., 2018, [cit.05.12.2018]. Dostupné z: <https://duo.peri.com/cs/#universally&gid=1&pid=3>
- [41] Stavební investorské noviny. *Novinka ve výrobě bednění PERI – Univerzální bednění DUO pro stěny, sloupy a stropy* [online]. Horní Vršava: SNI s.r.o., 2016, [cit. 20.11.2018]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/4305-novinka-ve-vyrobe-bedneni-peri-univerzalni-bedneni-duo-pro-steny-sloupy-a-stropy>
- [42] SIGNUM. *Plastové bednění GEOPLAST* [online]. Plzeň: SIGNUM stavební stroje s.r.o., 2017 [cit. 17.12.2018]. Dostupné z: <http://www.signum-plzen.cz/download/geoplast/plastove-bedneni-geoplast.pdf>

- [43] GEOPLAST. *Formwork Solutions* [online]. Grantorto: Geoplast S.p.A, 2009, [cit. 17.12.2018]. Dostupné z: http://www.geoplast.com.tr/tr/casseforme/teknik/geopanel/Kalip_Uygulama_Cozumleri-ENG.pdf

- [44] GEOPLAST. *GEOPANEL the universal panel for walls* [online]. Grantorto: Geoplast S.p.A, 2018, [cit. 17.12.2018]. Copyright © [cit. 17.12.2018]. Dostupné z: <https://www.geoplastglobal.com/wp-content/uploads/2018/08/Geoplast-Geopanel-English-Catalogue.pdf>

- [45] EPIC. *Epic ECO* [online]. Postojna: EPIC d.o.o., 2018, [cit. 17.12.2018]. Dostupné z: <http://www.altradbaumann.cz/userfiles/file/Katalog%20EPIC.pdf>

- [46] SVOBODOVÁ, Lenka; HORÁČKOVÁ, Alena. *Ekonomické rozměry BOZP. Bezpečnost a hygiena práce*, 2015, roč. 65, č. 4, s. 13-14 a 19-21. ISSN 0006-0453.

- [47] Výzkumný ústav bezpečnosti práce. *Rizikovost ekonomických činností v ČR* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2015, [cit. 17.12.2018]. Dostupné z: https://www.mpsv.cz/files/clanky/23614/METODIKA_rizikovost_TB03MPSV010.pdf

- [48] KOLIBAČ, Richard. *V loňském roce se stalo nejméně smrtelných pracovních úrazů za posledních 15 let* [online]. Opava: Státní úřad inspekce práce, 2018 [cit. 17.12.2018]. Dostupné z: <http://www.suip.cz/pro-media/tiskove-zpravy/v-lonskem-roce-se-stalo-nejmene-smrtnych-pracovnich-urazu-za-poslednich-15-let/>

- [49] LYNCH, Jim. *Why Using Big Data Mitigates Risk and Helps Construction Businesses Take Flight* [online]. San Rafael: Autodesk, 2018, [cit. 30.12.2018]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/redshift/big-data-in-construction/>

- [50] JORIS. *Recycling 3D Printing Materials: 4 Solutions* [online]. Leuven: Materialise, 2014, [cit. 05.01.2019]. Dostupné z: <https://i.materialise.com/blog/en/recycling-3d-printing-materials-4-possible-solutions/>

- [51] MEHAT, Mizamzul. *A Degradation Study of Virgin and Recycled ABS Blends Subjected to Multiple Processing* [online]. Academia.edu, 2013, [cit. 05.01.2019]. Dostupné z: http://www.academia.edu/5728193/A_Degradation_Study_of_Virgin_and_Recycled_ABS_Blends_Subjected_to_Multiple_Processing

- [52] SHARIFI, Sarah. *3 Ways Virtual Reality in Construction is Shaping the Industry* [online]. San Rafael: Autodesk, 2018, [cit. 30.12.2018]. Dostupné z: <https://connect.bim360.autodesk.com/virtual-reality-in-construction>

- [53] CAMPBELL, Dace. *6 Ways Virtual Reality Construction Technology Can Save You Money NOW* [online]. San Rafael: Autodesk, 2017, [cit. 30.12.2018]. Dostupné z: <https://connect.bim360.autodesk.com/virtual-reality-construction-technology-saves-money>

- [54] Interview s Romanem Tomašíkem, Dispečer firmy LR Trans. Brno 21. 11. 2018.

- [55] Interview s Bc. Markem FUCHSEM, Technik bednění ULMA. Brno 24. 10. 2018.

- [56] Interview s Ing. Tomášem DONÁTEM, Projekt manager divize monolitických konstrukcí SKANSKA. Brno 20. 5. 2018.

- [57] Interview s Ing. Martinem MOUDŘÍKEM, Vedoucí divize monolitických konstrukcí PSG. Brno 17. 10. 2018.

- [58] Interview s Bc. Markem HUDEČKEM, Technický dozor firmy PSG. Brno 26. 10. 2018.
- [59] BOZPinfo – Časopis JOSRA [online]. Copyright ©r [cit. 04.01.2019]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/sites/default/files/obsah/super-obsah/pracovni-urazovost-v-ceske-republice-v-roce-2017/soubory/pracovniurazovost2017-tabulkovacast.pdf>
- [60] HOŘČÍK, Jan. *Spočítejte si, kolik emisí CO₂ vyprodukuje Vaše auto* [online]. Stará Boleslav: Chamanne s.r.o., 2017, [cit. 05.01.2019]. Dostupné z: <http://www.ekoblog.cz/?q=emise>

Seznam tabulek

Tabulka 1 - 10 nejmodernějších tiskáren na světě	22
Tabulka 2 - Vlastnosti materiálu ABS	40
Tabulka 3 - Výpis prvků bednění.....	51
Tabulka 4 - Výpočet výše nájmu kompozitního bednění	53
Tabulka 5 - Výpočet výše nájmu klasického bednění	54
Tabulka 6 - Cena za pronájem bednění na 50 dní.....	55
Tabulka 7 - Plocha pronajímaného bednění.....	55
Tabulka 8 - Hmotnost pronajímaného bednění.....	56
Tabulka 9 - Náklady na věžový jeřáb	57
Tabulka 10 - Náklady na autojeřáb	57
Tabulka 11 - Výpočet nákladů na pronájem jeřábu	58

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma tiskárny SLS, DMLS	12
Obrázek 2 - Schéma tiskárny SHS	13
Obrázek 3 - Schéma tiskárny BJ	14
Obrázek 4 - Schéma tiskárny MJP	15
Obrázek 5 - Schéma tiskárny FDM	16
Obrázek 6 - Schéma tiskárny SLA	17
Obrázek 7 - Schéma tiskárny LOM	18
Obrázek 8 - Vizualizace 3D tisku budovy	19
Obrázek 9 - Metoda Contour Crafting	21
Obrázek 10 - Canal House v Amsterdamu	23
Obrázek 11 - Největší vytištěná budova na světě	24
Obrázek 12 - Budova Office of the Future v Dubaji	25
Obrázek 13 - The BOD v Dánsku	25
Obrázek 14 - Technologie rozšířené reality	27
Obrázek 15 - Ukázka virtuálního modelu	29
Obrázek 16 - Inovativní přilba Daqri	30
Obrázek 17 - Ukázka užití technologie UAV	30

Obrázek 26 - Graf vyobrazující vývoj cen oceli	36
Obrázek 27 - Čtyřprvkové stropní bednění DokaFlex	37
Obrázek 28 - Stěnové rámové bednění Frami Xlife	38
Obrázek 29 - Sloupové bednění Frami Xlife	38
Obrázek 30 - Graf vyobrazující vývoj cen ABS	41
Obrázek 31 - Koncepce bednění Peri DUO	42
Obrázek 32 - Bednění z technopolymeru	43
Obrázek 33 - Základní díly bednění z technopolymeru	44
Obrázek 34 - Ukázka možností napojení rohu	44
Obrázek 35 - Bednění kruhových sloupů	45
Obrázek 36 - Ukázka bednění stropní konstrukce z plastového bednění	45
Obrázek 37 - Ukázka zřízení bednění stropní konstrukce	46
Obrázek 38 - Výměna bednicího pláště	46
Obrázek 39 - Možné textury u kompozitního bednění	47
Obrázek 40 - Nejčastější zdroje úrazů dle ČSÚ.....	49

Seznam zkratk

ÚRS	Ústav racionalizace stavebnictví
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
ČSN	Česká norma
EN	evropská norma
Kč	korun českých
m. j.	měrná jednotka
ks	kus
Sh	strojhodina
Nh	normohodina
např.	například
apod.	a podobně
STL	souborový formát
SUIP	Státní úřad inspekce práce
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci

WSA	World steel association
USD	americký dolar
MDO	Medium density overlay
HDO	High density overlay
G	modul pružnosti ve smyku
E	modul pružnosti
VR	virtuální realita
AR	rozšířená realita
BOD	Building of Demand
CAD	computer aided design
ASA	acrylonitrile styrene acrylate
XT	amorfní kopolymer
FDM	Fused deposition modeling
UV	ultrafialové záření
MJP	Multijet printing
SHS	Selective heat sintering
DMLS	Direct metal laser sintering
SLS	Selective laser sintering
BIM	Building Information Modeling
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
BJ	Binder jetting
PET	Polyetylentereftalát
PLA	Polylactid acid
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
LOM	Laminated object manufacturing
SLA	Stereolitografie

Seznam příloh

Příloha 1 – Náskres rodinného domu

Příloha 2 – Náskres kompozitního bednění – svislá konstrukce

Příloha 3 – Náskres kompozitního bednění – vodorovná konstrukce

Příloha 4 – Výkres rámového bednění – svislé konstrukce

Příloha 5 – Výkres čtyřprvkového bednění – vodorovná konstrukce