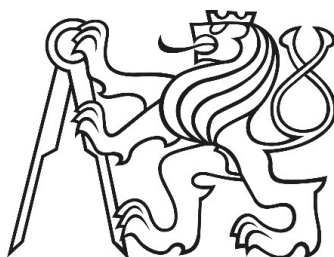


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace výrobních kapacit prefabrikovaných  
stěnových dílců

Autor: Bc. Lenka Kosíková  
Praha 2019

Vedoucí diplomové práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci s názvem: „Optimalizace výrobních kapacit prefabrikovaných stěnových dílců“, napsala samostatně a pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne 31. prosince 2019

Bc. Lenka Kosíková

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala pražské firmě PREFA PRAHA a.s. Jmenovitě panu Ing. Jiřímu Řezníčkovi za řadu cenných podnětů a rad při zpracovávání mé práce a především za čas strávený nad konzultacemi. Dále mé poděkování směřuje k panu Milanu Strakošovi, manažeru kvality spolupracující firmy CEMEX Malešice s.r.o., za pomoc při přípravě a provádění praktických zkoušek materiálů. Ráda bych také poděkovala panu Ing. Rostislavu Šulcovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce. V neposlední řadě bych ráda poděkovala rodičům za umožnění studia a všem blízkým za podporu.

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kosiková Jméno: Lenka Osobní číslo: 423114  
Zadávající katedra: K122 - Katedra technologie staveb  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Optimalizace výrobních kapacit prefabrikovaných stěnových dílců  
Název diplomové práce anglicky: Optimization of production capacities of precast wall elements

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše přípravných a výrobních procesů při prefabrikaci
2. Normové a další technické požadavky na prefabrikaci stěnových prvků.
3. Vymezení faktorů ovlivňujících výrobu.
4. Monitorování stávajícího stavu výroby (popis stávajícího stavu výroby, vlastnosti materiálové základny).
5. Návrh způsobů možné optimalizace se zaměřením na zvýšení výrobní kapacity.
6. Optimalizace výrobních receptur pro dosažení vyšší obratovosti.
7. Provozní zkouška.
8. Vyhodnocení navržených opatření.

Seznam doporučené literatury:

- [1] TP 05 Výroba železobetonových stěnových panelů (Prefa Praha a.s.)
- [2] ČSN EN 14992:2007/A1:2012 Betonové prefabrikáty – Stěnové prvky
- [3] ČSN EN 13369:2005 Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty
- [4] ČSN EN 13670:2010 Provádění betonových konstrukcí
- [3] ČSN EN 206
- [4] ČSN P 73 0424
- [5] PYTLÍK, Petr. Technologie betonu ISBN 80-214-1647-5.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 25.9.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **Anotace**

**Název práce:** Optimalizace výrobních kapacit prefabrikovaných stěnových dílců

**Autor:** Bc. Lenka Kosíková

**Katedra:** Katedra technologie staveb

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

**e-mail vedoucího:** rostislav.sulc@fsv.cvut.cz

**Anotace** Diplomová práce se zaměřuje na optimalizaci výroby stěnových prvků pomocí sklopných betonovacích stolů. Výroba stěnových prvků je ovlivňována řadou faktorů, které mohou průběh výroby narušit. Vlivem těchto faktorů dochází nejen ke snížení kvality vyráběných prvků, ale převážně k nežádoucím časovým prodlevám výroby. Práce se zaměřuje na průzkum těchto ovlivňujících faktorů a návrh možných variant řešení jejich optimalizace. Omezující faktory výroby jsou prověřovány z hlediska technické vybavenosti haly, používaných materiálů i technologie výroby.

**Klíčová slova:** prefabrikovaný panel, stěnový panel, sklopný stůl, optimalizace, technologie výroby



## Annotation

**Title:** Optimization of production capacities of precast wall elements

**Author:** Bc. Lenka Kosíková

**Department:** Department of Construction Technology

**Supervisor:** Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

**Supervisor's e-mail address:** rostislav.sulc@fsv.cvut.cz

**Abstract** The thesis is focussed on the optimalization of the production of precast wall elements by using tilting tables. The production of precast wall elements is influenced by several factors which can affect the process of production. These factors at first can reduce the quality of the produced elements, but mainly lead to undesirable time delays in production. The thesis is focussed on exploration of these factors and the design of a new suggestion for optimization. Restriction factors of production such as the technical equipment of the hall, the materials used and the production technology are controlled.

**Keywords:** precast element, wall precast element, tilting table, optimalization, production technology

# Obsah

<b>1 Přípravné a výrobní procesy prefabrikace</b>	<b>11</b>
1.1 Výrobní prefa prvků	12
1.1.1 Typy prefa výroben	12
1.2 Výrobní proces prefabrikace	15
1.2.1 Příprava povrchu	16
1.2.2 Ukládání výztuže	19
1.2.3 Zmonolitnění prvků	21
1.2.4 Úprava povrchu	23
1.2.5 Ošetřování prvků	23
1.2.6 Odstranění bednění	24
1.2.7 Úprava povrchu odbedněného prvku	26
1.3 Přidružená výroba	26
1.3.1 Sklady surovin	27
1.3.2 Výroba betonu	28
1.3.3 Vázání výztuže	29
1.3.4 Kontrola výroby, zkušebnictví	30
1.3.5 Skladování hotových výrobků	31
1.3.6 Přeprava prvků	31
<b>2 Technické požadavky pro výrobu prefabrikovaných stěnových prvků</b>	<b>33</b>
2.1 Tvarové požadavky	33
2.2 Výrobní požadavky	34
2.2.1 Technologie výroby	34
2.2.2 Materiálové požadavky	35
2.3 Pevnostní požadavky	35
2.4 Certifikace výrobků	36
<b>3 Faktory ovlivňující výrobu prefabrikátů</b>	<b>38</b>
3.1 Povětrnostní podmínky	39
3.1.1 Vliv na materiály	39
3.1.2 Vliv na výrobní prostředky	39
3.1.3 Vliv na pracovníky	40
3.2 Technické zázemí výroby	40

3.2.1	Doprava betonu	40
3.2.2	Bednění dílců	43
3.3	Volba materiálu	44
3.3.1	Beton	45
3.4	Lidský faktor	48
3.5	Ostatní faktory	49
3.6	Omezující faktory výroby - shrnutí	49
<b>4</b>	<b>Stávající stav výroby</b>	<b>52</b>
4.1	Výrobní areál PREFA PRAHA a.s.	52
4.1.1	Výrobní haly	52
4.1.2	Betonárna	53
4.1.3	Armovna	53
4.1.4	Sklad výrobků	54
4.2	Hala pro výrobu stěnových panelů	54
4.2.1	Popis výrobního procesu	55
4.3	Plán výroby	57
4.3.1	Časový snímek práce	57
4.4	Prvotní vymezení problematických faktorů stávající výroby	59
<b>5</b>	<b>Návrh optimalizace výroby</b>	<b>61</b>
5.1	Optimalizace technické vybavenosti	61
5.1.1	Doprava a ukládání betonu	61
5.1.2	Bednění	64
5.1.3	Navržené vybavení výroby	67
5.2	Optimalizace délek trvání jednotlivých činností	67
5.2.1	Modelace průběhu výroby na ostatních stolech	67
5.2.2	Optimalizace průběhu výroby	70
5.3	Optimalizace organizace výroby	71
5.3.1	Řešení organizace výroby	72
5.3.2	Zásady celopodnikové organizace	73
<b>6</b>	<b>Optimalizace výrobních receptur</b>	<b>75</b>
6.1	Současný stav	75
6.2	Optimalizovaná receptura - zkoušky	76
6.2.1	Optimalizovaná receptura - letní měsíce	77
6.2.2	Optimalizovaná receptura - zimní měsíce	79
6.3	Praktická zkouška receptury	81
6.4	Optimalizace systému s použitím nových receptur	82
6.4.1	Průběh výroby - stávající receptura	82
6.4.2	Průběh výroby - nová receptura	83

<b>7 Závěrečné shrnutí navržených opatření</b>	<b>84</b>
<b>8 Závěr</b>	<b>86</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>88</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>89</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>I</b>
<b>A Harmonogram původního stavu - domodelovaný</b>	<b>II</b>
<b>B Harmonogram optimalizovaného stavu - bez organizace výroby</b>	<b>IV</b>
<b>C Harmonogram optimalizovaného stavu - s organizací výroby</b>	<b>VI</b>
<b>D Výkres zkušební stěny</b>	<b>VIII</b>

# Úvod

Prefabrikace, jakožto způsob jak zrychlit a zkvalitnit výstavbu rozsáhlých objektů je používána již řadu let. Hlavním principem prefabrikace byla vždy výroba v kontrolovaném prostředí, urychlení procesu a možnost suché montáže na stavbě. Výstavbové procesy se však v dnešní době čím dál více zrychlují. Výrobní betonových prvků proto často nejsou schopny pokrýt poptávu, která na tomto trhu vzniká. Betonové prvky jsou tak mnohdy expedovány se zpožděním nebo v nedostatečné kvalitě. V horším případě jsou zakázky firmami zcela odmítány. Kapacity výrobních hal jsou mnohdy nedostačující a jejich navyšování formou dostavby nových hal, či přijmutí více pracovníků jsou ekonomicky náročné. Snaha výroben prefa dílců tak směřuje k zjišťování, jak zvýšit efektivnost výroby při zachování stejného počtu pracovníků a velikosti výroben. Samotnou výrobu prefabrikovaných prvků ovlivňuje množství faktorů. Tyto faktory bude práce řešit ve snaze nalézt možnost pro zefektivnění výroby bez nutnosti zvětšení výrobních prostorů.

## Cíle práce

Práce je zaměřena na problematiku prefabrikace betonových prvků, konkrétně na zvýšení efektivity jejich výroby. Vzhledem k rozsáhlému sortimentu betonových prvků byla práce zaměřena na výrobu betonových stěnových prvků. Tento typ prefabrikátů byl zvolen z důvodu, že se jedná o jeden z nejpoužívanějších prvků na stavbě. Jejich výroba je vzhledem ke způsobu provádění značně časově a prostorově náročná a pro výstavbu je vždy potřeba vysoké množství těchto prvků. Vzniká zde potřeba zrychlit jejich výrobu, aby výrobní prostory byly co nejvíce využity. Pozorovanou skupinou prvků jsou klasické stěnové prvky bez zateplení (nikoli sendvičové panely), které jsou zhotovovány na sklopných betonovacích stolech.

Cílem práce je vymezení kritérií, která mohou zvýšit produktivitu výrobní linky s přihlédnutím k metodice práce, prostorovému uspořádání i materiálové základně výroby.

Součástí práce bude:

- seznámení s fungováním výroben prefabrikovaných prvků
- vymezení normových a technických požadavků pro prefabrikaci stěnových prvků
- vymezení faktorů ovlivňujících výrobu stěnových panelů
- monitorování stávajícího stavu výroby
- návrh optimalizace a praktická zkouška materiálů
- vyhodnocení navržených opatření

# Kapitola 1

## Přípravné a výrobní procesy prefabrikace

Výroba konstrukčních prvků ze železobetonu metodou prefabrikace je stará jako železobeton sám, již od konce 19. století. Jednotlivé části staveb jsou vyráběny v prostorech prefa výroben a na stavbu dopravovány jako hotové prvky připravené pro montáž. Prefabrikované prvky byly v počátku používány hlavně pro uniformní stavby s velkým množstvím opakovatelných prvků. V dnešní době jsou vyráběny prvky různých tvarů bez ohledu na jejich množství. Prefabrikace získala na oblibě díky vysoké kvalitě prvků, která je po celou dobu jejich výroby kontrolována v prostředí haly se stálými podmínkami. Oproti monoliticky prováděným konstrukcím je tak možné kontrolovat nejen konstrukční kvalitu prvku, ale také kvalitu provedení povrchů a celkový vzhled. Výstavba s prefabrikovanými prvky je oproti monolitickému způsobu značně rychlejší. Nevznikají problémy s řešením nepříznivého počasí, které stavby často prodlužuje a tím i prodražuje (nedodržení termínů, drahý pronájem zařízení staveniště apod.). V neposlední řadě je nutné zmínit, že použitím prefabrikovaných prvků se sníží produkce emisí oproti použití monolitického způsobu výstavby. Emise vznikají vlivem dopravy čerstvé betonové směsi na stavbu a její dopravou čerpadly na místo určení. Prefa prvky jsou sice také dopravovány na stavbu automobilovou dopravou, množství přesunů však není tak rapidní jako u monolitů. Velkou výhodou použití prefa prvků se tak stává pevná doba výstavby nezávislá na nepřízni počasí, nebo nedostatku pracovníků. Výhodou je i stálá cena výrobků, která je stanovena již při objednávce prvku.

## 1.1 Výrobna prefa prvků

Výroba prefabrikovaných prvků je prováděna v prostředí velkoobjemových hal. Samotné haly jsou většinou řešeny jako skeletové nebo rámové konstrukce s lehkým opláštěním, fungujícím jako ochrana před povětrností. V hlavním prostoru je prováděna samotná výroba prvků. Příprava výztuže, skladování materiálu i hotových výrobků a výroba betonové směsi se provádí obvykle mimo hlavní halu. Zpravidla ale tato přidružená výroba leží v jednom areálu. Konstrukční řešení hal, jeho vybavení a uspořádání bývá závislé na typu prvků vyráběných v halách. Základní schéma výroby prefabrikátů se však v podstatě neliší.

### 1.1.1 Typy prefa výroben

Vývoj výrobního procesu linek se jako všechna odvětví stavebního průmyslu mění. Rozdílem oproti ostatním odvětvím je, že základní schéma výroby používané již v začátcích je dodnes ve většině výroben neměnné. Rozdílnost používaných způsobů fungování výroby závisí ve velké míře na její automatizaci. Rozhodujícím faktorem pro volbu systému je především plánovaný objem výroby a finanční možnosti firmy. V dnešní době rozlišujeme dva základní druhy výroby prefabrikovaných prvků.

- Stacionární systém
- Posuvný (carrouselový) systém

#### Stacionární systém

Jedná se o takzvaný „stavební systém“, kdy zhotovované prvky zůstávají na stálé pozici a pracovníci se pohybují mezi nimi. Vyroběný prefabrikát tak opouští svou pozici až při přemisťování hotového prvku na skladovací místo. Tento způsob výroby se používá již od počátků výroby prefa prvků v takřka nezměněné podobě. Pro výrobu stěnových prvků stacionárním způsobem je možné použít dva způsoby provádění.

- Sklopné stoly
- Bateriové formy

**Sklopné stoly** Způsob výroby spočívá v betonáži plošných prvků na mechanicky ovládané sklopné stoly. Před samotnou betonáží se na bednicím stole musí vytvořit lemování tvaru vyráběného prvku. Hotový prvek se po zatuhnutí zdvihá pomocí sklopného stolu, který je schopen prvek naklonit do takřka svislého

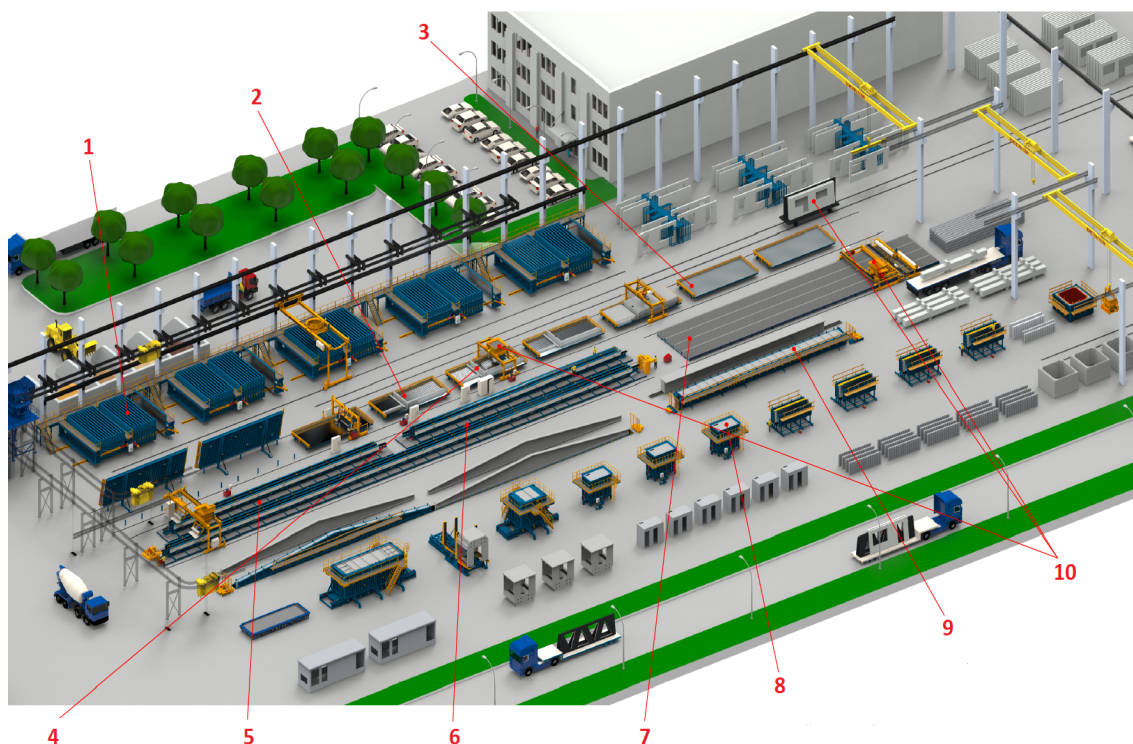


stavu (až 75°). Zvedání a přemisťování prvku je tak prováděno ve svislém stavu a prvek není namáhán působením negativních vnitřních sil, které by vznikaly zvedáním prvku z vodorovné polohy. Bedníci stoly jsou vyráběny na zakázku dle požadových rozměrů. Plochu stolu je možné vysokofrekvenčně vibrovat či prohřívát, záleží na požadavcích objednatele.

Výhodou tohoto způsobu provádění je možnost tvarové variability vyráběného prvku, jelikož ohraničení prvku je nejčastěji prováděno ze dřeva či vodovzdorných překližek. Výhodou je i plošné vibrování prvků, které určuje konečnou kvalitu výrobku. Nevýhodou je pracnost při přípravě formy, a mnohdy i omezení vzniklé nedostatečnou velikostí plochy stolu. Problémovým faktorem může být i výsledný povrch panelu, který je nutné manuálně upravovat. Výsledný povrch i při velice kvalitní práci není zcela totožný z obou stran stěny.

**Bateriové formy** Dalším způsobem jak lze vyrábět stěnové prvky jsou bateriové formy. Stěny jsou zde vyráběny ve svislé poloze a je možné vyrábět velké množství stěn v rámci jedné formy. Jednotlivé prvky jsou svisle skládány vedle sebe, a jsou oddělovány ocelovými stěnami formy. Stěny formy jsou pohyblivé ve vodorovném směru, čímž je vymežována tloušťka zhotovovaného prvku. Zmonolitnění formy je prováděno z horní strany. K vibrování formy jsou používány příložené vibrátory (mohou být i součástí formy). Nejčastěji jsou pro výrobu používány samozhutňující betony, u kterých není nutné prvek dodatečně zhutňovat. Bateriové formy jsou stejně jako bedníci stoly vyráběny na zakázku. Velikost a kapacita forem je závislá na přání objednatele formy.

Velkou výhodou bateriových forem, oproti sklopným stolům, je jejich výrobní kapacita. Při stejné zástavbové ploše, kterou forma oproti stolu zabírá, je množství produkce několikanásobně vyšší. Problémem tohoto typu formy se tak stává kvalita zhotovených prvků. Je možné vyrobit větší množství prvků, jejich kvalita však bývá znatelně nižší než u prvků vyráběných na sklopných stolech. Tento způsob výroby je technologicky náročnější oproti klasickému způsobu. Časté jsou problémy vzniklé nekvalitním protečením betonové směsi, nedostatečným vibrováním či špatným nastavením formy. Stěnové prvky vyrobené v bateriových formách mají kvalitní povrch, který je totožný z obou stran. Při správné technologii výroby mohou takto vyrobené prvky být velice kvalitní. [1, 2, 3]



Obrázek 1.1: Schéma výroby - Stacionární systém [15]

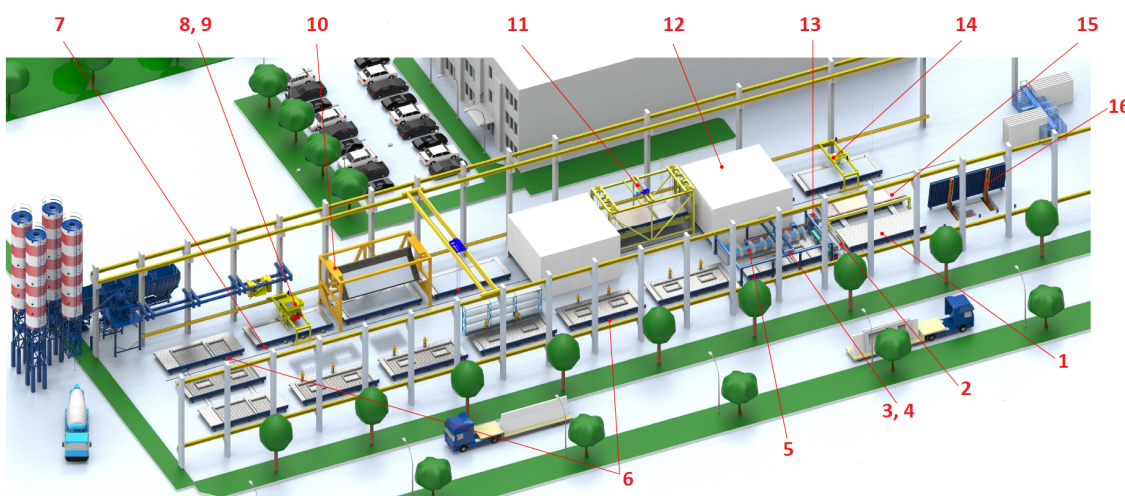
1) Bateriové formy; 2) Sklopné stoly; 3) Předpínací stoly (deskové prvky); 4) Použití magnetických bočnic; 4) Předpínací linka - sloupy, trámy; 5) Předpínací linka - vazníky; 6) Trámky a nosníky malých rozměrů; 7) Prostorová prefabrikace; 8) Mostní nosníky; 9) Rozprostírače

## Posuvný (carrouselový) systém

Druhým a naprosto rozdílným způsobem výroby je posuvný, neboli carrouselový systém. Jedná se o systém výroby, který je možné přirovnat k „sériové výrobě“. Při výrobě prvků má pracovník neměnné pracoviště. Vyráběný prvek se poté přemísťuje mezi jednotlivými pracovišti (Pallet Circulation Systems). Tento způsob výroby je oproti stacionárnímu způsobu již značnou mírou mechanizován a funkce celé linky je řízena pomocí softwaru. Vzniku tohoto způsobu výroby předcházela nejen snaha o vyšší mechanizaci výroby, ale především nedostatek kvalifikovaných pracovníků a cena práce. Carrouselový systém je obecně systémem velkoobjemové výroby. Proto je tento systém využíván převážně pro prvky s velkou opakovatelností.

V tomto odvětví výroby prefabrikátů se snaha výrobců těchto plně automatizovaných linek posunuje k co nejvyšší možné digitalizaci výrobního procesu. U jednoduchých posuvných systémů jsou prvky přemísťovány pomocí vozíků pohybujících se po kolejkách. Vozíky jsou ovládány dálkovými ovladači jednotlivých

pracovníků. Vývoj směřuje k plně automatizovaným linkám téměř bez pomoci lidského faktoru (Průmysl 4.0). Výrobě předchází 3D modelace výrobku s kalkulací potřeb materiálů, lidského faktoru i vymezení speciálních požadavků. Směr digitalizace výroby slibuje úsporu materiálu vlivem kvalitního plánování a intuitivní strojní vybavenosti hal. Stroje jsou vybavovány senzory pohybu pro okamžité zastavení stroje v případě nevhodného umístění pracovníka. Tím se zamezuje vzniku pracovním úrazů a celkově se zvyšuje bezpečnost pracovišť. Moderní systémy jsou schopny sami vyhodnocovat vzniklé problémy v systému a sami požádají o případné seřízení. Všechna tato opatření snižují náklady na provoz strojů i výrobní materiál, pořizovací cena systému je však značně ekonomicky náročná. [1, 2, 3, 5]



Obrázek 1.2: Schéma výroby - Carrouselový systém [15]

1) Betonovací podložky; 2) Čištění a impregnace forem; 3) Automatické umísťování magnetických bočnic; 4) Plotr vyznačující obrysy prvku vodorozpustnou barvou; 5) Skladování magnetických bočnic; 6) Kolové podpory podložek - posun ve směru, y; 7) Vibrační stanice pro zhutňování; 8) Distribuční stanice betonu; 9) Úprava povrchu - hlazení; 10) Obraceč (při výrobě sendvičových panelů); 11) Výtah vytvrzovací komory; 12) Vytvrzovací komora; 13) Čištění a impregnace použitých bočnic; 14) Lopatková hladítka pro finální úpravu povrchu; 15) Odstranění bočnic; 16) Překlapěč, zvedání prvků

## 1.2 Výrobní proces prefabrikace

V předešlé kapitole byly popsány různé způsoby výroby betonových prefabrikovaných prvků. Tato práce se bude zaměřovat konkrétně na výrobu stěnových prvků, prováděných na sklopných stolech. Princip a fungování tohoto typu výroby zde bude podrobněji popsán.

Výrobu prefabrikovaných prvků lze nejlépe popsat proudovým způsobem postupu pracovní čety. Haly pro výrobu prefabrikátů zaměřené na výrobu pomocí sklopných stolů jsou vybaveny několika sklopnými stoly, obvykle třemi až čtyřmi (dle velikosti výrobního závodu). Výroba je prováděna postupně, čety přecházejí mezi jednotlivými sklopnými stoly. Výrobní cyklus se skládá z několika neustále se opakujících úkonů, které se liší dle typů a složitosti vyráběných prvků.

- Příprava povrchu
- Bednění
- Ukládání výztuže
- Zmonolitnění
- Úprava povrchu
- Ošetřování prvků v době tuhnutí
- Odstranění bednění a zdvih prvku
- Úpravy zhotoveného prvku

### 1.2.1 Příprava povrchu

Kvalita přípravy povrchu udává výsledný vzhled a kvalitu vyráběného prvku. Konstrukce musí být pevná, odolná proti statickému zatížení od čerstvé betonové směsi i dynamickému od vibrování a dalších úprav. Konstrukce by měla být tvořena v součinnosti konstruktéra a technologa linky. Jedná se o hlavní prvek výrobní linky, který určuje budoucí výkonnost provozu.

#### 1.2.1.1 Konstrukční varianty sklopných stolů

Sklopné stoly se skládají z nosné části s možností zdvihu (až o 75°), tzv. formopodložky, a plošné části. Plošná část (vytvářející plocha) slouží přímo jako podklad pro budoucí prefabrikát. Nosná konstrukce stolu je z pravidla masivní ocelová konstrukce doplněná soustavou hydraulických pístů pro nakládání prvků. Vytvářející plocha má tvar písmena L, aby mohl být prvek při zdvihání opřen po celé délce hrany. Plošná část sklopného stolu (formopodložka) může být tvořena ocelovou deskou anebo deskami z foliované voděodolné překližky. Podle typu povrchu formy se liší způsoby připevňování bočnic vymezujících budoucí prvek.



**Bednicí plocha z voděodolné překližky** Pro bednění na ploše z voděodolné překližky bývají používány výhradně truhlářsky vyráběné bočnice z obdobného materiálu. Jejich poloha je zajišťována spojovacím materiálem (hřebíky) na plochu formy. Tento způsob bednění je velice pracný a náročný na spotřebu materiálu. Bočnice musí být dostatečně ztuženy příčnými žebry a celý prvek musí být opatřen ve spodní části plastovou lištou. Tato lišta vytváří zkosené hrany budoucího prvku, velikost zkosení je udána ve výkresové dokumentaci (většinou 10 x 10 mm). Bočnice z voděodolné překližky jsou opakovatelně použitelné, jejich životnost je však poměrně malá vzhledem ke způsobu připevňování. Obvykle se pohybuje v řádech několika měsíců. Velkou nevýhodou u bednění z materiálů na bázi dřeva je objemová nestálost materiálu. Materiál má při vniknutí vlhkosti do souvrství desky problémy se zvětšováním objemu vlivem částečné nasákavosti. Výhodou tohoto způsobu bednění je možnost vytvoření tvarově variabilní formy, jejíž složitost a kvalita provedení závisí pouze na manuální zručnosti truhláře.



Obrázek 1.3: Bednicí plocha z voděodolné překližky, truhlářsky prováděné bočnice

**Bednicí plocha z ocelového plechu** Dalším typem materiálu používaného pro plochu formy je ocelový leštěný plech (tloušťka 3 - 10 mm). Tento typ používané plochy se vyznačuje kvalitním povrchem prvků a dlouhou životností. Bočnice pro vymezení hran formy jsou vytvářeny pomocí sklopných bočnic šroubovaných do podložky nebo do čelistových magnetů uložených v ploše formy. Při použití ocelových šroubovaných odklopných bočnic je velice omezena tvarová variabilita formy, protože otvory jsou již předvrtány do vytvářecí plochy stolu. Nepoužívané otvory šroubované varianty jsou zaslepovány a vytmelovány, aby nenarušovaly povrch prvku. Pro vytvoření bočnic jsou také používány magnetické nosiče bočnic v kombinaci s voděodolnou překližkou (tvar a provedení obdobné jako u varianty s podkladem s voděodolné překližky), ocelové nebo hliníkové profily. Tento způsob

přípeňování bočnic pomocí magnetů byl primárně navržen pro bateriové formy, až později byl používán pro stoly s ocelovým povrchem. Dnes jsou magneticky přípeňované bočnice běžně používaným způsobem lemování prvků. Používají se buď jako nosné rámy, ke kterým se přípeňuje bočnice z voděodolné překližky, nebo jako kompletní systémový prvek, který je přímo doplněn i zkosením hran budoucího panelu. [9]



Obrázek 1.4: Vytvářecí plocha z ocelového plechu, magnetické bočnice [17]

### 1.2.1.2 Úprava povrchu vytvářecí plochy

Po vyjmutí hotového prvku je nutné použít lemování a povrch kvalitně očistit a připravit pro další použití. V první fázi se plocha čistí mechanicky od hrubých nečistot. Je nutné čistit nejen povrch, ale i hrany, detaily a rohy použité formy. Plocha stolu je následně zbavena nečistot zametením, případně se dočišťují detaily pomocí tlakového vzduchu. Následuje nanášení separační látky na povrch - odbedňovací olej. Nejčastěji používané separační oleje jsou na bázi minerálních látek, ale je možné použít i biologicky odbouratelnou variantu olejů (základem je řepkový olej). Separální látky mají primárně za úkol upravit povrch bednění tak, aby se stal nepřilnavým pro čerstvou betonovou směs i konečný železobetonový prvek. Dále mají separační látky funkci ochrany před korozi u ocelového bednění, a uzavírají mikroskopické póry dřevěného bednění (zvyšují životnost). Většina odbedňovacích olejů umožňuje okamžité ukládání betonové směsi, u některých je nutné další výrobu chvíli pozdržet. Použití olejů je limitováno možnou teplotou pro použití. Teploty se však pohybují mezi 5 - 40°C, což jsou teoreticky omezující teploty i pro samotnou betonovou směs. Při práci se separačními oleji je nutné uvažovat nad tím, že se jedná o vysoce hořlavé materiály, i při snaze výrobců tuto vlastnost omezit na minimum. Odbedňovací olej je na povrch formy nanášen nástřikem pomocí tlakového rozprašovače, natíráním nebo válečkováním. Povrch je v závěrečné fázi přípravy stírán látkovým rozprostíračem či gumovou stěrkou tak, aby na povrchu formy nezůstalo přebytečné množství separační látky. [8]

## 1.2.2 Ukládání výztuže

Do připraveného a ošetřeného bednění je ukládána výztuž. Ve velké většině případů se jedná o předem zhotovené/vyvázané armokoše (kvůli úspoře času). Jen malá část prvků je vyvazována přímo do bednění.

Ukládání armokošů do bednění je prováděno výhradně pomocí mostových jeřábů, kterými jsou haly pro výrobu prefabrikátů vybaveny. Jeřábů bývá v hale umístěno několik, aby dokázali obsloužit nejen samotnou halu, ale i připojené sklady prvků. Množství jeřábů se odvíjí od velikosti produkce haly a její vytíženosti.

### Distanční prvky

K vymezení polohy ukládané výztuže v bednění se používají distančníky. Distanční prvky jsou nabízeny ve velkém množství konstrukčních i materiálových druhů a jejich volba závisí především na typu vyráběného prvku. Vyráběná distanční tělíska mohou být rozdělována dle typu či tvaru, vždy s uvedením krycí vstvy kterou tento prvek zaručuje.

- Kusové distančníky
  - distanční kroužky či jehlany (plastové)
  - distanční tělíska (betonové, kombinace betonu a plastu)
- Distanční lišty
  - rovné lišty (plastové, ocelové, železobetonové)
  - kroucené - tzv. hady (plastové, ocelové, železobetonové)
- Distanční podložky - tzv. ježci
  - plošné (plastové)
  - kruhové (plastové)

Často se používané distanční prvky kombinují, aby se docílilo co nejefektivnějšího podepření plošné výztuže. Častá je například kombinace přímých plastových lišt a kroucených ocelových lišt. Distanční lišty spolu s plošnými podložkami jsou nejčastěji používanými distančními prvky při výrobě stěnových a jiných plošných prvků. Množství distančníků je uvedeno projektantem ve výrobní dokumentaci prvku a je uváděno v kusech na m<sup>2</sup>.



Obrázek 1.5: Plocha připravená pro uložení výztuže

**Speciální prvky** Před zmonolitněním připravené formy je nutné doplnit nosnou výztuž řadou speciálních prvků. Tyto prvky slouží například pro manipulaci s panelem nebo jeho zabudování do konstrukce. Elementy je nutné kvalitně upevnit k výztuži tak, aby při zmonolitnění nedošlo k jejich posunu. Použití a přesné umístění těchto prvků musí být navrženo statikem.

Každý vyráběný prefabrikát musí být osazen manipulačním úchytem. V dnešní době jsou nejčastěji používány šroubovací úchyty. Jedná se o závitové pouzdro pevně spojené s tyčí žebírkové výztuže, která může být rovná či se záhybem. Manipulace je prováděna pomocí ocelových lanových ok nebo řetězů, která se šroubují do zabetonovaných manipulačních pouzder. Starší obdobou manipulačních úchytů byla oka z žebírkové betonářské výztuže. Úchyty byly vyráběny a dimenzovány přesně pro daný prvek. Vzhledem k pracnosti se v dnešní době od tohoto typu úchytů upouští.

Pro umístění stěnového prvku v konstrukci se používá celá řada specifických doplňků. Jedná se nejen o spojení mezi jednotlivými prefabrikovanými panely, ale i o propojování prefabrikované a monolitické části. K těmto účelům jsou používány armovací uzávěry, spojky s výztuží či ocelové patky pro stěny.





Obrázek 1.6: Speciální prvky připravené pro osazení

### 1.2.3 Zmonolitnění prvků

Po přípravě bednění a usazení výztuže dochází ke zmonolitnění prvku. Betonová směs pro výrobu prefabrikovaných panelů musí být specifická, stejně jako celá výroba. Vyrobena směs by měla být lehce zpracovatelná, nikoliv však natolik tekutá, aby docházelo k rozmísení jednotlivých vrstev při ukládání směsi. Pro betony užívané v prefa výrobnách je ideální použití pitné vody. Ta zaručí stálobarevnost prvku a tím vylučuje nevzhledný povrch vyrobeného prefabrikátu. Zamezuje také nežádoucím jevům jako je vznik výkvětů nebo krvácení betonu. Snahou výroby prefabrikátů je zmaximalizovat obrátkovost betonovacích stolů, proto jsou vlastnosti betonů často upravovány plastifikátory či urychlovači tuhnutí.

**Doprava betonu** Výrobna prefabrikátů ke své produkci spotřebuje velké množství betonu. Betonárny jsou proto umístovány přímo v areálu samotné prefy nebo v její bezprostřední blízkosti. Druh dopravy závisí na vzdálenosti prefa výroby a betonárny, druhu dopravované směsi, typu betonovaného prvku a v neposlední řadě i na ekonomických možnostech firmy. Dopravu betonové směsi je možné rozdělit v závislosti na způsobu přemístění betonu z míchačky do formy.

- Primární doprava (doprava betonové směsi z betonárny do prostoru výroby, nikoliv přímo do bednění)
  - doprava autodomíchávači
  - podvěsná podprava (z betonárny do výroby)

- Sekundární doprava (doprava od zdroje betonu v prostoru výroby do bednění)
  - stabilní nebo pojízdné rozprostírače
  - podvěsná doprava
  - závěsné koše nebo badie
  - pásové dopravníky
  - betonovací mosty
  
- Průběžná doprava (doprava od betonárny přímo do bednění)
  - nádoby na kolovém podvozku
  - podvěsná doprava (z betonárny do bednění)

Způsob dopravy betonu by měl být posuzován s ohledem na velké množství faktorů. Rozhodujícím hlediskem musí být výsledná kvalita přepraveného betonu. Vlivem dopravy nesmí dojít k rozmísení jednotlivých složek betonu, nebo dokonce k zatuhnutí betonové směsi v nádobě. Výběr vhodného způsobu dopravy je pro výrobu prefabrikovaných prvků velice důležitý.

**Ukládání betonu** Technologie ukládání betonové směsi do připraveného bednění je jedním z určujících aspektů výsledných vlastností vyrobeného prvku. Na kvalitě provedení ukládání směsi závisí nejen mechanické vlastnosti vyrobeného prefabrikátu, ale také konečný tvar a vzhled prvku. Výsledkem kvalitního způsobu ukládání by měl být prvek s konstantní hutností betonu v celém svém objemu.

Čerstvý beton dopravený na místo uložení má dobu zpracovatelnosti obvykle 30-90 minut. Doba zpracovatelnosti je závislá na prostředí, ve kterém je čerstvá směs zpracovávána, a také na množství přísad a příměsí obsažených v betonu. Ukládaná betonová směs nesmí být spouštěna z výšky převyšující 1,5 m, aby nedocházelo k rozmísení složek betonu. Veškeré prvky vyráběné způsobem prefabrikace se v průběhu betonáže vibrují, nebo jsou používány samozhutnitelné betonové směsi. Vibrování může být prováděno pomocí ponorných či příložných vibrátorů nebo vibračních lišt (dříve prováděno propichováním či válcováním). Při výrobě plošných prvků se nejčastěji používá vibrování přímo v ploše sklopného stolu. Stoly bývají vybavovány integrovaným vibrováním z výroby. Hutnění vyráběného prvku pomocí vibrování musí být prováděno celoplošně s tloušťkou hutněné vrstvy do 300 mm tak, aby bylo umožněno snadnému úniku vzduchových bublin. Míra zhutnění musí být dostatečná, aby prvek obsahoval co nejméně vzduchových bublin. Je však nutné dobu hutnění kontrolovat tak, aby nedošlo

k rozmísení složek vlivem nadměrného vibrování (oddělování cementového gelu na povrchu betonovaného prvku). [5]

#### 1.2.4 Úprava povrchu

Výsledný povrch betonového výrobku musí být uveden ve výrobní dokumentaci. Kvalita povrchu je volena podle umístění prvku v konstrukci a dle požadavků na jeho vzhled. Standardním povrchem prováděným u prefabrikátů jsou povrchy hlazené. Jedná se o povrch několikanásobně upravovaný válcováním a hlazením, dokud není docíleno hladkého povrchu bez nerovností a vzduchových bublin. Vyššího standardu povrchu můžeme docílit zvolením povrchové úpravy pohledového betonu, kde je kladen nejvyšší důraz na dokonalý povrch betonového prvku. Povrchy prvků v pohledové kvalitě jsou doupravovány i po vyjmutí z formy. Vzhled výsledného povrchu je určován referenčním vzorkem. Méně často se povrchy provádějí jako tzv. stržené, kdy je povrch panelu pouze zarovnán dřevěnou nebo kovovou latí. Speciálním způsobem úpravy povrchů lze nazývat povrchy vymývané. Plocha panelů je v mírně zavadlém stavu vymývána proudem vody, povrch je poté tvořen obnaženým kamenivem. Pro tento typ povrchů se používá beton s říčním kamenivem pro docílení požadovaného vzhledu.

#### 1.2.5 Ošetřování prvků

Výsledná kvalita vyráběného prvku je ve velké míře ovlivněna ošetřováním povrchu v době tuhnutí. Povrch panelů je nutné chránit před rychlým odpařováním vody způsobeným několika možnými faktory. Jedná se především o vysoké teploty, přímé sluneční záření, vysoká míra proudění vzduchu, ale také nízké teploty (teploty nižší než 5 °C) a vliv agresivních chemických látek. Ošetřování povrchu betonového prvku je prováděno především pro jeho výsledný vzhled. Nesprávným ošetřováním může dojít ke vzniku smršťovacích trhlin na povrchu prvku, které mohou být určující pro výslednou životnost. Způsob ošetření a použití dalších opatření je určován podle okolního prostředí. Doba ošetřování zabetonovaného prvku je určena na základě odpařovací plochy, tloušťky prvku, druhu betonu, okolní teploty a rychlosti větru. Přesné doby ošetřování jsou na základě zmíněných aspektů řazeny do tzv. ošetřovacích tříd a jsou určeny v ČSN EN 13670 - Ošetřování čerstvého betonu. Doby ošetřování jsou uváděny jako minimální a pohybují se v rozmezí 12 - 70 hodin dle typu konstrukce i více. [6]

**Ošetřování v zimním období** Betonáž prvků při nízkých teplotách lze usnadnit již při návrhu samotné betonové směsi. Zvolením vyšší pevnostní třídy betonů s rychlým nárůstem počáteční pevnosti či přísadami jako jsou plastifikátory

a urychlovače tuhnutí lze betonáž provádět i v zimních měsících. Volbou těchto materiálů docílíme rychlého nárůstu počáteční pevnosti a tím se i doba ošetřování betonového prvku zkracuje. Obecně platí, že prvky betonované v zimě je nutné chránit proti zamrznutí záměsové a ošetřovací vody. Teplota povrchu betonového prvku nesmí klesnout pod 5 °C. Použitá ošetřovací voda se nesmí teplotně lišit o více než 5 °C oproti teplotě povrchu betonu. Ochrana je prováděna zakrýváním betonových prvků izolačními foliemi, které zamezují úniku hydratačního tepla a vlhkosti z povrchu prvku. Dalším opatřením může být ohřev jednotlivých složek betonu (vody nebo kameniva) nebo prohřívání betonovací plochy. V případě výrobních hal je nejčastěji používáno centrální vytápění v prostorách haly. Opatření spojená s výrobou prefabrikovaných prvků v zimních měsících jsou za velice nízkých teplot natolik nákladné, že bývá výroba prefa prvků pozastavena.

[6]

**Ošetřování v letním období** Stejně jako v zimním období je i v teplých měsících nutné ošetřovat povrch betonu před únikem vlhkosti. Okolní teplota pro betonáž v letních měsících není omezena, avšak teplota jádra betonového prvku by neměla přesáhnout 70 °C. Snížení teploty prvků při betonáži lze zajistit jednoduchými opatřeními již při přípravě betonové směsi. Je vhodné používat kamenivo ze skládek mimo přímé slunce nebo z jejich zakrytých částí, či přidávat chladnější záměsovou vodu pro výrobu. Naopak nevhodným způsobem pro zamezení přehřívání zhotovovaného prvku je větrání. Betonové prvky jsou velice náchylné na rychle proudící vzduch v okolí, který vysušuje povrch panelu a tím dochází ke vzniku trhlin. Nejvíce je vlhkost povrchu regulována pomocí kropení a zakrývání. Kropení povrchu musí být prováděno ihned po zmonolitnění prvku již v rámci úpravy povrchu. Intervaly mezi kropením povrchu nesmí být natolik dlouhé, aby v mezidobí došlo k vysychání povrchu. Ošetřovaný povrch musí být v prvotní fázi zkrápěn jemným postřikovačem tak, aby nebyl narušen povrch čerstvě zalitého panelu. Pro zajištění vlhkosti povrchu prvku lze použít zakrytí geotextilií, která je pravidelně zkrápěna. Povrch panelu je možné zajistit také speciálními nástříky, které uzavírají strukturu povrchu a tím zamezují unikání vlhkosti. [6, 7]

### 1.2.6 Odstranění bednění


Poslední z procesů ukončující cyklus výroby stěnových panelů je odbednění a přemístění prvku. Doba, kdy je možné prvek vyjmout z bednění je ovlivňována velkým množstvím faktorů. Zvolení vhodné doby pro vyjmutí prvku z formy velkou mírou ovlivňuje výrobu. Pokud jsou prvky zvedány příliš brzy, může docházet k jejich deformaci, v horším případě k destrukci celého prvku. Panely, které jsou

na lince delší dobu než je potřeba jsou faktorem zpomalujícím výkonnost celé výrobní linky. Je tedy nutné zvolit vhodnou dobu pro vyjmutí prvku z bednění.

Doba, kterou je nutné ponechat prvek ve formě je závislá na pevnosti materiálu v tlaku. Ve chvíli, kdy pevnost prvku dosáhne určené meze, je možné s prvkem manipulovat ( $R_M$ - manipulační pevnost [MPa]). Po dosažení manipulační pevnosti je možné prvek zvednout z podložky bez dalšího podepření a přemístit ho na skládku bez rizika deformace, nebo destrukce. Prvky jsou ukládány na skládce dokud není možné je přemísťovat na stavbu ( $R_E$ - expediční pevnost [MPa]). Expediční pevnost musí být v ideálním případě rovna alespoň 80 % z celkové pevnosti betonu v tlaku ( $R_B$ ). Aby bylo možné vyrobené prvky zabudovat do konstrukce musí se jejich pevnost pohybovat mezi 75 - 90 % z celkové pevnosti po 28 dnech. Pokud se jedná o nezátížený prvek, je vyjíměčně možné použít i prvek s 60 % pevností  $R_B$ .

Hlavními aspekty určujícími požadovanou pevnost pro možnost zdvihání je v první řadě receptura použitého betonu, velikost betonovaného prvku a vnitřní prostředí ve výrobní hale. Ideální normové prostředí pro tuhnutí a tvrdnutí betonových prefa prvků je teplota  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  s ideální vlhkostí cca 90 %. V reálném prostředí není možné těchto podmínek dosáhnout přirozeně. Pro prostředí pro tuhnutí betonových prvků musí být upravováno (zakrývání, kropení, prohřívání apod.) viz předešlá kapitola **1.2.5 Ošetřování prvků**.

Zjišťování hodnot pevností betonových dílců je prováděno nedestruktivním způsobem zkoušením. Jedná se o kombinaci měření pomocí odrazového tvrdoměru a zkoušek pevnosti na zkušebních krychlích. Zkoušky pomocí odrazového tvrdoměru - Schmidtova kladiva, jsou zkouškami orientačními, které jsou prováděny na reálném prvku. Tyto zkoušky jsou pro upřesnění vždy doplňovány pevnostními (destruktivními) zkouškami na zkušebních krychlích o velikosti hrany 150 mm. Betonová směs pro výrobu zkušebních krychlí musí být odebírána z totožné záměsi, jako beton pro výrobu samotného prvku. Zkušební krychle musí být po dobu tuhnutí skladovány ve stejných okolních podmínkách jako vyráběný prvek, aby bylo zaručeno shodné chování. Tvrdoměrné zkoušky Schmidtovým kladivem jsou prováděny na reálném panelu i na zkušebních tělesech. Zkušební těleso musí být v době provádění tvrdoměrné zkoušky zatíženo 10 % z celkové pevnosti v tlaku.

Hodnoty požadované pevnosti pro možnou manipulaci s prvkem jsou uvedeny ve výrobním výkresu. Pro běžné stěnové prvky se tyto hodnoty pohybují v rozmezí 25 - 30 MPa. Hodnoty jsou uvedeny pro beton C35/45, který je jedním z nejčastěji používaných betonů pro prefabrikaci. Prvky je možné zdvihát po cca 16 - 20 hodinách dle velikosti prvku. Pro urychlení procesu tuhnutí (zvětšení odpařovací plochy) je vhodné odstaňovat bočnice panelu. Odstranění bočnic je možné provést při pevnosti 1 - 3 MPa. 

Zdvihání prvků je prováděno pomocí mostových jeřábů s řetězovým závěsem (popř. s vahadlem dle velikosti prvku). V prvotní fázi pracovníci upevní šroubovací oka do připravených pouzder a zajistí jeřábové háky. Následně je prvek naklápěn na sklopném stole do téměř svislé polohy. V poloze nízkého závěsu panelu (cca 0,5 - 1 m nad zemí) jsou odebírány zbylé prvky prostupů a lemování. Panely jsou následně přesouvány k uskladnění na vnější skládky výrobků.

Po zdvihnutí hotového stěnového panelu je nutné co nejdříve plochu očistit od zbylých nečistot a opatřit ji odbedňovacím olejem (viz. kapitola **1.2.1.2 Úprava povrchu vytvářecí plochy**). Úklid a ošetření plochy je prováděno nejen z důvodu přípravy plochy pro nový prvek, ale zároveň z důvodu údržby se snahou o prodloužení její trvanlivosti vytvářecí plochy. Čištění a impregnaci je nutné provádět i pokud výroba přímo nenavazuje a bednicí plocha je momentálně nevyužívaná.

### 1.2.7 Úprava povrchu odbedněného prvku

Na hotové stěnové prvky jsou kladeny nejen mechanické požadavky, ale také požadavky vzhledové. Při betonáži může chybnou technologií provádění vzniknout řada nevzhledných elementů. Nejčastějšími z nich jsou drobné vlasové trhliny, vzduchové póry a kaverny nebo rozdílná barevnost prvků. Příčinou těchto nevzhledných jevů může být nesprávné ošetřování povrchu, použití kameniva s nežádoucím znečištěním, nekvalitní zhutnění a systém ukládání betonové směsi. Velkou mírou přispívá k výsledné kvalitě prvku i typ a kvalita použitého bednění.

Další nežádoucí poškození panelů mohou být špatné geometrické parametry a poškození. Nesprávným sestavením bednění nebo jeho nedostatečnou kvalitou mohou vzniknout plošné nerovnosti, nepravidelné hrany nebo odchylky v rozměrech. Při odbedňování prvků a jejich následnou manipulací pak mohou vzniknout drobná mechanická poškození jako jsou odštipnuté hrany nebo ulomené rohy.

Většinu těchto nežádoucích porušení lze odstranit úpravou technologie výroby a vybaveností výrobní haly. Mechanická poškození je možné upravit pomocí správkových hmot s totožnými vlastnostmi s původním materiálem. Výsledná kvalita prefa výrobků, které směřují k zákazníkům je specifikována v technických podmínkách již při objednávce prvků.

## 1.3 Přidružená výroba

Hlavní výroba na úseku výrobní haly prefabrikátů musí být doplněna řadou přidružených pracovišť pro dodávku betonu, výztuže, skladů a mnoha dalších. Tyto



pracoviště se vzhledem k úspoře času při výrobě nacházejí v areálu výrobních hal prefy (není nutnou podmínkou). Společně s hlavní výrobou tak tvoří celek výroby prefa prvků.

### 1.3.1 Sklady surovin

Jedná se o skladování vstupních surovin pro výrobu (plniva, pojiva, výztuž, přísady, příměsi, speciální prvky). Stavby skladů surovin musejí být kontrolovány, aby nedošlo k nedostatkům omezujícím výrobu. Zároveň není vhodné rapidně převyšovat potřebné množství zásob, skladování by se stalo neekonomickým. Sklárky jsou dimenzovány na část aktivní a pasivní. Aktivní část sklárky je množství běžně používaného materiálu. Pasivní část sklárky je množství materiálu, které na skládce běžně zůstává a funguje jako rezerva. Skladování musí být prováděno podle typu uložených surovin s ohledem na omezující podmínky (teplota, vlhkost, ochrana před povětrností) tak, aby nedošlo k jejich znehodnocení.

**Plniva** Při skladování sypkých surovin je jejich objemová hmotnost přímo závislá na stupni nakypření a vlhkosti skladovaného materiálu. Způsob skladování musí být navržen tak, aby nedošlo ke znečištění (zemina, zbytky porostu či nadměrné množství vody). Při ukládání surovin na sklárku nesmí dojít k mísení jednotlivých frakcí či kameniv stejné frakce ale s rozdílnou lokalitou těžby. Kamenivo by mělo být ideálně ukládáno na sklárkách do 2,5 m výšky, z důvodu rozmísení frakcí při dosypávání z vyšších výšek. Skladování může být řešeno jako povrchová sklárka se zpevněnou plochou dělenou podle typu kameniva. Dále pak jako nadpovrchová sklárka s použitím různých variant sil. Posledním, méně používaným způsobem, je ukládání surovin v podzemních sklárkách. Doprava surovin do míchačky je prováděna dle typu uskladnění. Nejčastěji se používá doprava pásová, ale mohou být použity i korečkové dopravníky, šnekové dopravníky či skluzy u skládek nadpovrchových. [9]

**Pojiva** Při skladování pojiv je nejdůležitějším kritériem zachování kvality - zamezení styku pojiva s vlhkostí (voda, pára, vlhký vzduch). Jakost skladovaného cementu má rozhodující význam pro výsledné výrobky. Jeho kvalitu je tedy nutné pravidelně kontrolovat. Cementy jsou dopravovány do betonáren výhradně jako volně ložené (VLC), pytlovaný cement je dopravován pouze výjimečně na zvláštní vyžádání. Doprava probíhá pomocí automobilových cisteren, nebo cisternových vagonů (převoz na delší vzdálenosti). Automobilové cisterny jsou řešeny jako tlakové nádoby a vyprazdňování je prováděno pomocí zabudovaných kompresorů. Pojiva jsou dopravována do plechových skladovacích sil (dříve i sklolaminátových)

s objemem 30, 60, 90, 120 nebo 240 t. Přemisťování mezi silem a míchačkou je prováděno pomocí šnekových dopravníků. [9]

**Výztuž** Doprava výztuže je prováděna výhradně nákladními automobily. Výztuž musí být při skladování chráněna před znečištěním (mastnota, barvy, zemina, zbytky porostu), nadměrnou korozí, deformací a promícháním s jinými pevnostními třídami oceli. V areálu jsou skladovány různé typy výztužných prvků a podle nich se liší i typ skladování.

- prutová výztuž - délka do 14 m, svazky 10 a 5 t
- výztuž ve svitcích - po 0,5 t, do  $\phi 16$  mm
- svařované sítě
  - v rolích - šířka až 2,4 m
  - rohože - rozměr až 2,4 x 3,6 m
- předpínací lana a dráty

Obecně musí být pro skladování výztuže zajištěna zpevněná plocha se zastřešením. Prutová ocel je skladována ukládáním do boxů rovnoběžně s komunikací v rovině podlahy. Svitky mohou být ukládány na plochu na sebe nebo na svislo se zajištěním proti sesunutí. Ocelové sítě v rohožích skladujeme kladením na sebe se spodním podkladem a role svisle vedle sebe. Drobné součásti výztuže (speciální prvky či distančníky) ukládáme v ocelových boxech. [9]

**Přísady a příměsi** Velká většina přísad je v tekuté formě, do betonáren se dopravují v sudech či kontajnerech. Sypké přísady, nejčastěji barviva, jsou dopravována v pytlích o velikosti 20-50 kg. Tekuté přísady je nutné chránit před zmrznutím i před působením nadměrně vysokých teplot. Látky upravující vlastnosti betonové směsi mají sklony k sedimentaci, při skladování je nutné provádět periodické čerání. Důležité je sledování data možné spotřeby, jejím překročením by mohlo dojít ke snížení účinnosti látky. Podrobné informace o skladování konkrétního druhu látky je definováno výrobcem. [9]

### 1.3.2 Výroba betonu

Další důležitou součástí komplexu výroby prefabrikátů je výroba betonu. Velkou část objemu výroby betonárny pojme samotná výroba prefa prvků. I přesto (ve většině případů) slouží betonárny i pro externí odběratele (tzv. transport beton).



Objekt betonárny je složen z míchačky, dávkovacích zařízení, zásobníků surovin a centrem pro automatizaci a řízení výroby. Zařízení betonáren je neměnné, zatímco konstrukcí a způsobů jejich uspořádání je mnoho. Základním rozdělením může být vertikální a horizontální způsob uspořádání. U vertikálního, neboli věžového způsobu uspořádání, jsou ve vrchní části umístěna sila, která zásobují níže umístěné dávkování s míchačkou. Při horizontálním způsobu jsou sila oddělena a do dávkovací části s míchačkou jsou suroviny dopravovány pomocí pásových či šnekových dopravníků. Výsledná kvalita betonové směsi je závislá na konstrukčním řešení a uspořádání betonárny, stupni naplnění míchačky i době a intenzitě mísení. Běžně používané druhy betonáren jsou schopné produkovat 20 - 150 m<sup>3</sup> / hod. [9]

### 1.3.3 Vázání výztuže

Výztuž prefabrikovaných prvků by měla být co nejjednodušší s velkou mírou opakovatelných prvků. Příprava výztuže pro výrobu činí 15 - 40 % z celkové doby výroby prefa prvku. Práce s výztuží je dnes již značně mechanizována, největší část práce je stále prováděna lidmi. Pro úpravu ocelové výztuže je používána řada speciálních strojů.

- rovnačky - rovnání výztuže o malém průměru, která je dodávána ve svitcích
- střihačky - dělení ocelových prutů  $\phi$  4 - 40 mm
- ohýbačky - ohýbání prutů, až 2 ohyby v rámci jednoho pohybu
- čističky - čištění výztuže od koroze a okují
- speciální stroje - např. třmínkovačky, provádí několik úkonů najednou (stříhání, ohýbání, čištění, apod.)

Strojní vybavení pro úpravu výztužných prutů je situováno v jedné výrobní hale a je nazýváno armovnou. V armovnách jsou pruty tvarově upravovány a následně spojovány do požadovaného tvaru, tzv. armokoše. Vyzarování armokošů (spojování nastříhaných a naohýbaných prutů) je prováděno buď přímo v armovně, nebo v blízkosti haly na zpevněných plochách v okolí. Spojování jednotlivých prvků se provádí pomocí vazacích drátů ( $\phi$  9 - 14 mm) nebo svařováním. Naohýbané a nastříhané pruty (i celé armokoše) je možné objednat od externích dodavatelů, většinou se jedná o dodavatele hutního materiálu. Tento způsob dodávky výztuže nebývá u výroben prefabrikátů vzhledem k velkému objemu výroby obvyklý. [9]

### 1.3.4 Kontrola výroby, zkušebnictví

Výroba prefabrikovaných prvků musí být po celou dobu svého průběhu pravidelně kontrolována. Kontrolují se nejen vstupní materiály a samotný beton, ale i výrobní zařízení a dodržování technologie. Zkoušky jsou prováděny v laboratořích umístěných v prostorách betonárny. Každý odebraný vzorek má identifikační štítek a veškeré zkoušky jsou zaznamenávány v systému.

#### 1.3.4.1 Kontrola výroby

1. Kontrola vstupních materiálů - zahrnuje vstupní zkoušky veškerých materiálů vstupujících do výroby (zkoušky vstupní u nových materiálů, periodické zkoušky u opakovaně používaných)
2. Kontrola výrobních zařízení - kontrola funkčnosti zařízení na výrobu a dopravu betonu včetně všech složek
3. Kontrola vlastností betonu - ověření složení návrhu směsi, konzistence, obsah chloridů, vodní součinitel, obsah vzduchu, teplota, apod.
4. Kontrola před betonáží - kontrola bednění (rozměry, tvar, funkčnost), dopravního zařízení, umístění výztuže, kompetence pracovníků
5. Kontrola ukládání betonu - doprava, ukládání, zhutňování a ošetřování betonu

#### 1.3.4.2 Četnost zkoušek betonu

Zkušební vzorky jsou odebírány z betonu určeného přímo pro výrobu. Důvodem je nutnost ověřovat vlastnosti na reálně používaném materiálu. Četnosti zkoušek jsou dány normou ČSN EN 206 + A1, avšak firmy mají často vlastní kontrolně zkušební plány, podle kterých je výroba kontrolována. Zkušební vzorky jsou odebírány u každého ze souboru betonů při podmínkách, které jsou považovány za jednotné. Pokud je do směsi přidávána voda, nebo přísady je nutné odebrat vzorky bez ohledu na požadovanou četnost zkoušek. Odběry vzorků z daného objemu musí být prováděny průběžně, nikoliv najednou.

Vzorky mohou být odebírány jako:

- souhrnný vzorek - množství betonu odebrané z různých míst dodávky sestávající se z několika dobře vzájemně promíchaných dílčích vzorků
- lokální vzorek - množství betonu odebrané z jednoho místa dodávky sestávající se z několika dobře vzájemně promíchaných dílčích vzorků

Četnosti odběru vzorků jsou uvedeny v tabulce **1.1 Četnost odběru vzorků, dle ČSN EN 206 + A1**. Výsledky zkoušek jsou vyhodnocovány z jednotlivého zkušebního tělesa, nebo jako průměr výsledků při odebrání více vzorků z jedné záměsi (zkoušené ve stejném stáří). Pokud je rozptyl výsledků u souboru vzorků větší než 15% od průměru, výsledky zkoušek jsou označeny jako nevyhovující.

### 1.3.5 Skladování hotových výrobků

Pro skladování všech prefabrikovaných výrobků musí být zajištěna zpevněná plocha s vyspádaným povrchem proti shromažďování vody. Veškeré skladovací plochy závodu musí být obslužitelné mostovými jeřáby, jejichž dráha je často přímo napojena na dráhu uvnitř výrobní haly. Prvky musí být podloženy podkladky z tvrdého dřeva, nebo z betonu.

Stěnové prvky jsou skladovány ve svislé poloze, ve které budou v budoucnu zabudovány v konstrukci. Mezi sebou musí být vzájemně rozepřeny, boční stěny musí být dále zajištěny proti překlopení pevnou zarážkou. Prefabrikované stěny jsou ve vnějších skladech uloženy před expedicí přibližně 14 dní.

### 1.3.6 Přeprava prvků

Přeprava prefabrikovaných prvků je prováděna výhradně kamionovou dopravou. Běžné kamiony, tedy sestava tahače a návěsu (většinou bez plachty) dokáží převést prvky uložené do rozměrů návěsu 13,6 x 2,5 m. Hmotnost břemene převáženého běžnou kamionovou dopravou v ČR činí 24,5 tuny, těžší břemena již musí být řešena jako nadrozměrná. Nadrozměrná přeprava je zajišťována sestavou tahače a klanicových oplén (speciální podpurná vlečná zařízení napojená na tahač), které dokáží převést břemena o váze 25 - 70 tun.

Stěnové prvky jsou převáženy ve svislé poloze na ocelových rámech tvaru „A”. Panely je možné přepravovat i ve vodorovné poloze, pouze pokud jsou prvky staticky navrženy na tento způsob manipulace a jsou doplněny úchty pro zdvihání z vodorovné polohy.

Výroba	Minimální četnost odběru vzorků	
	Prvních 50 m <sup>3</sup> výroby	Následně po prvních 50 m <sup>3</sup> vyrobeného betonu
Počáteční (do získání nejméně 35 výsledků zkoušek)	3 vzorky	s certifikací výroby 1 vzorek/200 m <sup>3</sup> nebo 1 během 3 výrobních dnů
Průběžná (pokud je k dispozici alespoň 35 výsledků zkoušek)	-	1 vzorek/400 m <sup>3</sup> nebo 1 během 5 výrobních dnů nebo 1 za kalendářní měsíc
		bez certifikace řízení výroby 1/150 m <sup>3</sup> nebo 1. každý výrobní den

Tabulka 1.1: Četnost odběru vzorků, dle ČSN EN 206 + A1

# Kapitola 2

## Technické požadavky pro výrobu prefabrikovaných stěnových prvků

Stěnové panely, stejně jako ostatní betonové výrobky pevně zabudované v konstrukci, jejichž vyjmutí mění vlastnosti celé konstrukce musí splňovat následující požadavky (viz 268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby).

- Mechanická odolnost a stabilita
- Požární bezpečnost
- Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí
- Bezpečnost při užívání
- Ochrana proti hluku
- Úspora energie a ochrana tepla

Výroba stěnových prvků musí podléhat dovoleným odchylkám uvedených v normách. Jedná se o rozměrové odchylky a technické požadavky na výrobu a materiál.

### 2.1 Tvarové požadavky

Rozměry a charakteristiky povrchů jsou stanoveny v referenčních teplotách mezi 10-30 °C, při stáří betonu 28 dní. Pokud jsou hodnoty kontrolovány za jiných podmínek, může nastat chyba vlivem teplotní roztažnosti či smrštění materiálu. Teoreticky lze posuzovat rozměry i mimo vymezené prostředí a stáří, pokud jsou hodnoty odpovídajícím způsobem upraveny.

**Krytí betonem, šířka a výška** Hodnoty maximálních rozměrových odchylek - šířka  $\Delta b$ , výška  $\Delta h$  a hodnota krytí výztuže betonem  $\Delta c_{dev}$  jsou určeny v tabulce

### 2.1 Rozměrové odchylky prefabrikátů [12].

Návrhové rozměry	Průřez $\Delta b, \Delta h$ [mm]	Krytí betonem $\Delta c_{dev}$ [mm]
$L \leq 150$ mm	+10/-5	$\pm 5$
$L = 400$ mm	+15/-10	+15/-10
$L \geq 2\ 500$ mm	$\pm 30$	+25/-10

Tabulka 2.1: Rozměrové odchylky prefabrikátů [12]

Průměrná odchylka krytí betonem může být určena jako průměrná odchylka jednotlivé tyče, drátu nebo lana v průřezu. U desek je tato průměrná odchylka určována jako průměrná u maximálně 1 m desky. Záporné odchylky nesmí být nikdy číselně vyšší než hodnota stanovené odchylky v tabulce.

**Odchylka délky** Rozměry se měří podél hran, vždy 100 mm od hrany prvku.

$$\Delta L = \pm (10 + L/1\ 000) \leq \pm 40 \text{ mm} \quad [12]$$

## 2.2 Výrobní požadavky

### 2.2.1 Technologie výroby

Beton musí být ukládán a hutněn tak, aby nedošlo k nadbytečnému množství obsahu vzduchových bublin, předešlo se rozmísení a bylo zajištěno řádné zabudování výztuže. Čerstvě vybetonované povrchy se musí ošetřovat proti vysychání alespoň jednou z metod uvedených v tabulce **2.2 Ošetřování proti vysychání [12]**. Povrch betonu musí být ošetřován tak, aby se zamezilo snížení pevnosti a vzniku trhlin. Způsoby ošetření betonu jsou shrnuty v části **1.2.5 Ošetřování prvků**. Teplota čerstvého betonu nesmí být v době dodání nižší než  $+5$  °C.

Výrobky z nepředpjatého železobetonu musí mít minimální pevnostní třídu betonu C20/25. Použitá zařízení pro zpracování a dopravu betonu musí být pravidelně revidovány, aby jejich případným špatným technickým stavem nebyly ovlivněny vlastnosti betonu (popř. celé výroby).

**Urychlení hydratace proteplováním** Pokud je při výrobě prefabrikátů použito k urychlování tuhnutí a tvrdnutí proteplování, musí být počáteční zkouškou prokázáno, že vlivem proteplování nedochází k ovlivnění výsledné pevnosti. Rozdíl teplot betonu před a po předeřívání nesmí být větší než 20 °C. Maximální míra zvýšení teploty betonu je závislá na prostředí. Jedná-li se o prostředí převážně suché nebo středně vlhké, může být teplota  $T_{mean} \leq 85$  °C. V prostředí mokřím či

střídavě mokrém  $T_{\text{mean}} \leq 65 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Při teplotách betonu  $70 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T_{\text{mean}} \leq 85 \text{ } ^\circ\text{C}$  musí být počátečními zkouškami prokázáno, že pevnost po 90 dnech odpovídá vývoji tvrdnutí vzhledem k pevnosti po 28 dnech. [12]

### 2.2.2 Materiálové požadavky

Materiály i zpracovávající zařízení používané pro výrobu stěnových prvků musí být pravidelně kontrolovány (viz ČSN EN 13 369 - příloha D). Zkoušky materiálů jsou prováděny pro každou 1. dodávku a následně jsou periodicky opakovány v závislosti na typu prvku. Každá dodávka je vizuálně kontrolována. Pokud materiál vykazuje netradiční vizuální vlastnosti, musí být provedeny zkoušky i mimo periodický plán.

#### Tolerance v dávkování složek betonu

- cement, voda, kamenivo, příměsi a vlákna (pokud jsou použity v množství větším než 5 % hmotnosti cementu) - tolerance  $\pm 3 \%$  množství
- příměsi a vlákna (pokud jsou použity v množství  $\leq 5 \%$  hmotnosti cementu) - tolerance  $\pm 5 \%$  množství [14]

## 2.3 Pevnostní požadavky

Teoreticky možná pevnost se zkouší po 28 dnech, lze je provádět i dříve pro zhodnocení vývoje pevnosti. Pro posouzení pevností dílce je možné použít dvě základní metody.

- Přímé měření - přímá pevnost dílce se stanovuje z jádrových vývrtů či vyřezaných hranolů z hotového dílce
- Nepřímé měření - pevnost je zkoušena na zkušebních tělesech vyhotovených z totožného betonu, jaký byl použit pro výrobu, skladování a podmínky musí být totožné s vyrobeným prvkem

Zkoušky jsou hodnoceny na základě typu výroby, zda se jedná o výrobu počáteční či průběžnou. U průběžné výroby je minimální počet zkoušek 15. Kritéria hodnotící výsledky zkoušek pevnosti v tlaku jsou:

1.  $f_{\text{cm}} \geq f_{\text{ck}} + 1,48 \cdot \sigma$  [MPa], kde „s” je směrodatná odchylka výsledků souboru zkoušek
2.  $f_{\text{ci}} \geq f_{\text{ck}} - 4$  [MPa], kde  $f_{\text{ci}}$  je dílčím výsledkem pevnostní zkoušky [13, 14, 15]

## 2.4 Certifikace výrobků

Betonové výrobky z hutného betonu určené pro konstrukční použití musí být na trh uváděny formou certifikace (§5, NV 163/2002 Sb.). Certifikace je prováděna nezávislou autorizovanou osobou, které jsou poskytnuty podklady ohledně údajů o prodejci, technické podklady a vzorky nového výrobku s popisem technologie výroby. Autorizovaná osoba provede prověření dodaných podkladů na základě zkoušek a posouzením norem, které se k výrobku vztahují. Pokud se výsledky zkoušek shodují s technickými požadavky na výrobky, autorizovaná osoba vydá výrobku certifikát (prohlášení o shodě či vlastnostech). Výrobky jejichž vlastnosti jsou ověřeny certifikací je možné uvést na trh. Certifikace (ověření shody) lze provádět dle NV 163/2002 Sb., nebo dle nařízení evropského parlamentu a rady EU. [10]



Metoda	Běžná opatření
A - bez ošetřování vodou	<ul style="list-style-type: none"><li>- ponechání betonu v prostředí s relativní vlhkostí nad 65% pro CEM I a CEM II/A, 75% pro ostatní druhy pojiva</li><li>- ponechání betonu v bednění</li><li>- zakrytí povrchu betonu parotěsnými fóliemi</li></ul>
B - udržuje se vlhkost betonu ošetřováním vodou	<ul style="list-style-type: none"><li>- udržování vlhkých zákrytů na povrchu betonu</li><li>- udržování viditelně vlhkého povrchu betonu postříkem vodou</li></ul>
C - užití ošetřovacích prostředků	<ul style="list-style-type: none"><li>- použité ošetřovací prostředky musí být ve shodě s předpisy platnými v místě použití</li></ul>

Tabulka 2.2: Ošetřování proti vysychání [12]

# Kapitola 3

## Faktory ovlivňující výrobu prefabrikátů

Faktorů, ovlivňujících výrobu, je nespočet a ovlivňují celý její průběh. Některé vlivy je možné plně eliminovat, ale mnohé z nich lze pouze částečně omezit. Rozhodujícími faktory, na kterých závisí výsledná doba výroby prvků, lze podle základní úvahy rozdělit do pěti skupin:

- povětrnostní podmínky
  - obecné podmínky přetrvávající bez ohledu na roční období
  - podmínky specifické pro letní či zimní období
- technické zázemí výroby
  - míra automatizace výroby
  - způsob dopravy betonu
  - způsob ukládání
  - druh forem i celých výrobních linek
- volba materiálu
  - použité materiály
  - receptura betonu
- lidský faktor
  - množství pracovníků
  - pracovní náplň
  - kvalita práce

- ostatní faktory
  - dodávky materiálů pro výrobu
  - kvalita dodaných materiálů
  - poptávka

## 3.1 Povětrnostní podmínky

### 3.1.1 Vliv na materiály

Počasi ovlivňuje nejen chování betonové směsi uložené v bednění, ale její výrobu a práci samotných pracovníků. Největší mírou je počasím ovlivněna samotná hydratace betonu. Jedná se o jev, který probíhá v čerstvém betonu a je odstarován mísením cementu s vodou. Vzniklá chemická reakce zaručuje postupný nárůst pevnosti a beton tvrdne. Ideálním prostředím pro průběh reakce je prostředí s teplotou  $20 \pm 2$  °C s vlhkostí 90 %. Pokud okolní teploty klesnou příliš nízkou (pod 5 °C) reakce se zpomaluje, nebo úplně zastavuje. Vlivem zpomalení či zastavení reakce se snižuje výsledná pevnost betonu. Naopak vysoké teploty zapříčiní nepřiměřeně rychlý průběh reakce, vzniká velké množství hydratačního tepla a s ním k vysokému odparu záměsové vody. Zrna cementu mají vlivem vysokého odparu záměsové vody nedostatečné množství vody k průběhu reakce - hydratace. Důsledkem je, stejně jako u nízkých teplot, nižší výsledná pevnost.

### 3.1.2 Vliv na výrobní prostředky

Povětrnostní podmínky mohou ovlivňovat čerstvě zabetonované panely přímo nebo mohou negativně působit na prostředky pro jejich výrobu. Ochlazovacími faktory v zimním období tak mohou být například bubny míchaček, manipulační technika, či samotná forma. Technika je vyráběna z ocelových materiálů, které jsou vlivem okolní povětrnosti studené a připravovaného betonu snižují teplotu. Teplota betonu v zimním prostředí je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících rychlost nástupu chemické reakce hydratace (nárůstu počáteční pevnosti).

V opačném případě mohou být v letních měsících pracovní prostředky ohřívány. Vlivem vysoké povrchové teploty může docházet při styku s betonem k odparu záměsové vody. Tento jev může být příčinou špatné zpracovatelnosti, nedostatečné hydratace či rychlého nástupu hydratace s vývinem velkého množství hydratačního tepla.

### 3.1.3 Vliv na pracovníky

V neposlední řadě je nutné uvážit kvalitu a rychlost práce, která je prováděna za příliš nízkých nebo vysokých teplot. Podle NV č.361/2007 Sb. část A je minimální teplota na pracoviště 10 °C a maximální 24 °C. Mezní teploty jsou vymezeny na základě typu práce - manuální práce s rozsáhlou činností svalstva trupu, horních i dolních končetin a práce ve stavebnictví. Rozmezí těchto teplot není možné v běžné nezateplené hale zajistit v letních ani zimních měsících. Teplota je zároveň ovlivňována i hydratačním teplem, které vzniká u tuhoucích prvků, to přispívá k oteplování prostředí v hale. Ochlazování prostředí v halách bývá často nesprávně vytvářeno provětráváním, což má negativní vliv na povrch betonových prvků (vznik trhlin). V zimních měsících, pokud klesají teploty velmi nízkou, je přistoupeno k vytápění prostor haly. Problematickými se stávají letní měsíce, kdy teploty v hale šplhají až k hodnotám kolem 40 °C. V závislosti na vnitřním prostředí kolísá i pracovní výkonnost pracovníků. Lidský organismus vystavený vysokým či nízkým teplotám je pomalejší a rychleji se unavuje. Může docházet nejen ke zpomalení práce, ale i vzniku nebezpečných situací z hlediska bezpečnosti práce (malátnost, nepozornost, únava). Je tedy vhodné uvážit použití chlazení či topení v teplotních špičkách k zajištění tepelné pohody pracovníků. [16]

## 3.2 Technické zázemí výroby

### 3.2.1 Doprava betonu

Rozhodujícím faktorem, ovlivňujícím výkonnost výrobních linek, je technické vybavení výroby. Volba způsobu fungování výrobní linky (stacionární nebo posuvný systém) je aspektem, který volíme spíše při návrhu nové výrobní linky. Změna systému celé výroby v rámci rekonstrukce není příliš proveditelná. Zavedením nového způsobu fungování se mění prostorové požadavky na halu a způsob fungování celé výroby. V případě úvahy nad zvýšením výrobních kapacit již fungující linky se nabízí spíše změna způsobu dopravy formou modernizace stávajícího vybavení se zavedením nových technologií.

Mechanizace výroby je nejvíce patrná u dopravy betonu a způsobu jeho ukládání. Proces dopravy betonu a jeho ukládání přitom tvoří jednu z nejvíce časově náročných operací při výrobě. Systémy používané pro dopravu jsou nejčastěji navrhovány přímo pro konkrétní podmínky, je však možné použít i typově vyráběné systémy. S přihlédnutím k individualitě řešení jednotlivých systémů lze pro urychlení procesu dopravy betonové směsi použít řadu systémů a jejich kombinací.

- závěsy na jeřáb - bádíe, koše na beton
- betonovací mosty
- rozprostírače
- nádoby na kolovém podvozku

**Závěsy na jeřáb** Častým způsobem distribuce betonové směsi po hale je přeprava pomocí badií a košů na beton. Jejich objem je obvykle 0,5 - 2,5 m<sup>3</sup>, lze vyrobit i jiné velikosti dle objednávky. Přeprava betonu pomocí těchto nádob zavěšovaných na jeřábech uvnitř haly je poměrně časově náročná. Z důvodu vy-tíženosti jeřábů může docházet ke zdlouhavým přesunům závěsů od místa plnění k místu vyprazdňování. Urychlení výroby je možné docílit použitím nádob vy-ššího objemu s elektronickým nebo hydraulickým ovládním dávkování. Proces plnění se zrychlí a nebude natolik fyzicky náročný pro obsluhu stroje. Vyprazdňo-vání nádoby může být usnadněno přílohným vibrátorem přímo na nádobě, čímž dochází k urychlení procesu vyprázdňení i čištění nádoby od zbytků betonu.



Obrázek 3.1: Koš na beton [17]

**Betonovací mosty** Mostové rozprostírače, neboli betonovací mosty, jsou v podstatě níže uložené mostové jeřáby s horizontálně pohybující se násypkou na beton. Velkou výhodou tohoto systému je obslužnost. Mostový rozprostírač se dokáže pohybovat po celé šířce i délce haly. Naopak nevýhodou je nutnost zřízení dopravního systému pro zásobování betonovacího mostu betonem. Na základě této vlastnosti se betonovací mosty instalují v kombinaci s podvěsnou dopravou. Jelikož se jedná o systém vyráběný na objednávku, je možné navrhnout způsob dopravy tak, aby bylo možné zajistit dodávku betonu i bez další investice do podvěsné dopravy. Systém je poháněn elektromechanickým pohonem a obsluha je prováděna dálkovým ovladačem (obsluha pohybu i vyprazdňování).



Obrázek 3.2: Mostový rozprostírač [17]

**Rozprostírače** Dalším možným způsobem dopravy betonu je použití rozprostíračů. Jedná se o nádoby podobného tvaru jako betonovací koše, které jsou připevněny na nosném rámu. Nosný rám s násypkou se pohybuje po kolejové dráze a rozmisťuje betonovou směs do forem. K hlavní funkci dávkování betonové směsi je možné přidat i rozhrnovač či hlazení povrchu, které mohou být součástí systému. Obsluha je prováděna pomocí dálkových ovladačů, které obsluhují manipulaci i otevírání uzávěrů násypky. Výhodou systému je velký objem násypky i možnost úpravy povrchu, což dokáže výrobu značně urychlit. Velkou nevýhodou je pohyb systému po vodících kolejnicích, což omezuje jeho působnost pouze na jednu dráhu v délce haly. Stejně jako u betonovacích mostů i rozprostírače musí být použity v kombinaci se systémem dopravující beton do násypky.





Obrázek 3.3: Rozprostírač betonové směsi [17]

**Nádoby na kolovém podvozku** Pokud je modernizace výroby formou zřízení nového distribučního systému složitá, nebo ho nelze ve výrobní hale aplikovat, lze použít nádoby na kolovém podvozku. Dopravní zařízení s obchodním názvem „Speedy„ je alternativou pro přemisťování betonu od betonárny až po výrobní linku bez nutnosti zřízení pojezdných drah či kolejí. Prostředek je dodáván dle požadavků zákazníka s kapacitou nádoby 1 - 3 m<sup>3</sup>. Výhodou zařízení je možnost dopravy přímo mezi betonárnou a výrobou bez nutnosti zřizování podvěsné dopravy. Tento způsob může být alternativou jak dopravovat beton v kratším čase, ale pouze pokud není výroba betonu umístěna příliš daleko od výroby.



Obrázek 3.4: Nádoba na kolové podvozku (tzv. Speedy) [18]

### 3.2.2 Bednění dílců

Pro rychlejší a efektivnější výrobu je nutné zařadit míru mechanizace i do procesů úpravy formy. Řešením pro urychlení výroby může být pořízení bateriové formy. Tyto formy jsou dodávány na základě individuálního návrhu i jako typové výrobky. Před pořízením formy je nutné uvážit rozměrové parametry, aby forma co

nejvíce rozměrově vyhovovala nejčastěji vyráběným panelům. Nevýhodou bateriových forem je neumožnění výroby některých složitějších panelů. Omezující bývá i velikost formy a to i přes snahu o pořízení ideální velikosti. Proto jsou často ve většině prefa závodů nadále používány betonovací stoly nebo stoly v kombinaci s bateriovými formami.



Obrázek 3.5: Bateriová forma

Pokud je nutné výrobu i nadále provozovat na sklopných stolech, v úvahu přichází jejich renovace. Kvalitnějším povrchem bednicích stolů je možné zkrátit dobu čištění povrchu před další betonáží. Pro celkové zrychlení procesu přípravy formy je vhodné uvažovat moderní způsoby zajišťování bočnic.

### 3.3 Volba materiálu

Proces výroby betonových panelů omezuje množství faktorů, které ovlivňují celkovou dobu trvání. Nejdéle trvajícím procesem, který určuje výkonnost linky, je doba tuhnutí a tvrdnutí zmonolitněného panelu. V rámci této doby, která běžně trvá 12 a více hodin je povrch betonového panelu ošetřován. Jiné práce v prostoru betonovací linky není možné provádět. Je žádoucí tento proces co nejvíce urychlit a tím zvýšit výkonnost celé linky.



### 3.3.1 Beton

Beton je vždy tvořen 4 základními složkami, které jsou ve směsi zastoupeny v obvyklém poměru. Poměry se mění dle typu betonu a jeho použití (beton pro monolitické konstrukce, prefabrikáty, masivní konstrukce apod.). Betonová směs může být nadále doplňována řadou rozptýlených výztužných prvků (vlákna či drátky), probarvujícími pigmenty apod.

Základní složky:

- Kamenivo 60 - 75 %
- Cement 10- 15 %
- Voda 7- 15 %
- Přísady a příměsi 0,4- 3,5 %

Chování čerstvého i výsledného betonu není ovlivňováno pouze množstvím jednotlivých složek betonu, ale také jejich kvalitou. Většina složek je organického původu s rozdílnými vlastnostmi závisujícími na místě původu. Jejich kvalita může být výrazně ovlivněna i zpracováním základní suroviny. [19]

#### 3.3.1.1 Kamenivo

Kamenivo, neboli plnivo, je nosnou kostrou výsledného betonu a zaujímá největší podíl ve složení betonu. Kvalita kameniva je velkou mírou dána oblastí, ve které byla těžena. Vlastnosti kameniva určují minerály, ze kterých se zrno skládá. Čím nepravidelnější je uspořádání jednotlivých minerálů, tím pevnější nerost je. Horniny s pravidelnou strukturou uspořádání jsou měkké a mají tendenci se štěpit. Kvalita kameniva je určována veličinou  $a_k$ , která je vyjádřena druhem horniny, tvarem zrn, charakterem povrchu a technickou úpravou (drcení, praní, apod.). Složka plniva musí obsahovat alespoň dvě rozdílné frakce. Čím více frakcí kameniva je zastoupeno, tím nižší je spotřeba cementového tmele a výsledná pevnost se zvyšuje.

Použité kamenivo mimo jiné ovlivňuje množství záměsové vody ve směsi a tím i rychlost tuhnutí a tvrdnutí.

**1. Pórovitost kameniva** Horniny s velkým množstvím pórů (s otevřenou strukturou) mají vysokou nasákavost. Kameniva z těchto hornin pak mají tendenci odjímat směsi množství záměsové vody. Pokud nemá cement ke své hydrataci dostatečné množství vody, nastává zpomalení procesu a s ním i pomalý nárůst počáteční pevnosti betonů. Současně, pokud není ve směsi dostatek vody, hydratace není zcela aktivována a výsledná pevnost betonu je nižší.

**2. Obsah jemných částic** Jemné částice (tzv. filer) jsou částice o velikosti zrna menší než 0,125 mm, jedná se o podsítné frakce při zjišťování zrnitosti. Tyto částice jsou přirozeně obsaženy ve všech kamenivech, rozhodující je jejich množství. Těžená a drcená kameniva mají obsah těchto částí znatelně vyšší než kameniva praná. Problematické jsou z hlediska množství cementového gelu, který je potřeba pro jejich obalení. Zvyšuje se spotřeba cementu i záměsové vody (cementový gel). Ovlivněna je především pevnost betonu a to v případě, kdy není při návrhu betonou počítáno s velkým množstvím těchto částic (více než 3 % hmotnosti). Pokud ovšem kamenivo obsahuje velké množství jemných částic, a ve směsi není dostatečné množství cementu a vody, procesy hydratace a nárůstu počáteční pevnosti se snižují.

**3. Vlhkost kameniva** Při návrhu betonové směsi je nutné uvažovat samotnou vlhkost kameniva. Kamenivo je skladováno nejčastěji na vnějších skládkách, kde podléhá povětrnosti. Směs kameniv tak obsahuje velké množství vnější vlhkosti, v zimním období i námrazu. Přebytečná vlhkost z povrchu kameniva navyšuje množství záměsové vody ve směsi. Větší množství vody zapříčiňuje vznik dutin a pórů a snižuje pevnost výsledného betonu. Přebytek vody z hlediska zpomalení procesu tuhnutí je problematickým v zimních měsících. Voda s vysokou měrnou tepelnou kapacitou je ochlazována okolním prostředím, čímž se snižuje teplota betonové směsi a tím oddaluje začátek hydratace.

**4. Nežádoucí látky** Rychlost reakce a začátek tvrdnutí může být znatelně ovlivněn i pokud kamenivo obsahuje další nežádoucí látky. Jedná se především o organické nečistoty (hlína, dřevo, uhlí, apod.) s obsahem nad 0,5 % u písků a 0,1 % u hrubého kameniva. Dále to mohou být soli, cukry a uhlíkové částice. Všechny tyto látky negativně ovlivňují vznikající chemickou reakci mezi zrny cementu a vodou, tím se proces zpomaluje.

### 3.3.1.2 Voda

Pro výrobu může být použita voda pitná (bez dalšího zkoušení), voda podpovrchová i povrchová (počáteční zkoušky) i voda recyklovaná (pravidelné zkoušky). Při použití recyklované vody musí být kontrolováno množství jemných pevných částic, které mohou ovlivňovat vlastnosti směsi - hlavně zpracovatelnost. Je nutné hlídat látky obsažené v záměsové vodě (oleje a tuky, čisticí prostředky, barvy, humusovitost a další rozptýlené látky), které mohou negativně ovlivňovat vlastnosti betonu. Při použití vhodných proverených vod je vzhledem k urychlení procesu nutné sledovat množství a teplotu záměsové vody. Teplota vody nesmí klesnout

pod 5 °C, ideální jsou teploty kolem 20 °C. Čím studenější voda je, tím více se nástup procesů hydratace zpomaluje.

### 3.3.1.3 Cement

Složka cementu nejvyšší mírou ovlivňuje rychlost hydratačních procesů. Záleží na typu použitého cementu, na jeho mineralogickém složení a jemnosti mletí. I přes kontrolu složení při výrobě nelze deklarovat totožné vlastnosti u různých šarží vyráběného cementu. Chování cementu při použití je velkou mírou ovlivněno vstupními surovinami, jejich kvalitou a množstvím.

Vlastnosti cementu jsou určovány především mineralogickým složením slínku (základní surovina výroby cementu). Procentuální zastoupení hlavních minerálů ve slínku ovlivňuje nástup počáteční pevnosti, rychlost tuhnutí a vývin hydratačního tepla. Vlastnosti hlavních slínkových minerálů jsou shrnuty v tabulce **3.2** **Slínkové minerály a jejich vlastnosti** [20].

Hodnoty vývinu hydratačního tepla jsou uvedeny při teplotě 20 °C a jedná se o orientační rozmezí.

Vlastnosti a chování vyrobeného cementu je určeno procentuálním zastoupením jednotlivých složek slínku. Výsledný vyrobený cement disponuje pevností dle množství použitého slínkového minerálu a dalších aditiv. Nej kvalitnější jsou cementy Portlandské, které obsahují až 100 % slínku ve svém složení. Složení slínku ovlivňuje celkový průběh reakce. Cementy je možné dělit na rychlovazné (značeny R), s rychlým nárůstem počáteční pevnosti a běžné (značení N).

Rychlost nárůstu počáteční pevnosti je ovlivněna také jemností mletí cementu. Jemnost mletí cementu není určena, ale obvykle se pohybuje v rozmezí 300 - 450 m<sup>2</sup>/kg. Jemnost cementu ovlivňuje i další vlastnosti betonu jako je počátek a doba tuhnutí a objemové změny. Jemnost mletí ovlivňuje rychlost reakcí z důvodu snadnějšího a rychlejšího průběhu chemické reakce hydratace díky menším zrnům cementu. Celkově je chování betonu zapříčiněno ve velké míře teplotou, která ovlivňuje rychlosti reakcí. [19, 20]

### 3.3.1.4 Výztuž

Výroba výztužných armokošů může velkou mírou prodloužit celkovou dobu výroby prefa prvků. Výztuž je ohýbána a následně zpracovávána dle projektové dokumentace. I přes použití ohýbacích a stříhacích strojů je největší část práce prováděna ručně. Důležitá je správná organizace výroby a časový plán výroby.

### 3.3.1.5 Přísady a příměsi

Přísady a příměsi ovlivňují vlastnosti betonu v surovém i pevném stavu. Jejich použití je závislé na okolním prostředí, především na teplotě. Dávkování je udáno výrobcem, pokud je použito více než 50 g/kg cementu, musí být prokázáno, že nebudou ovlivněny dlouhodobé vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206-1). Přísady a příměsi ovlivňují fyzikálně - chemické procesy hydratace rozpouštěním jednotlivých slínkových minerálů, které vstupují do chemických reakcí. Ovlivňováním průběhu reakcí docílíme zrychlení či zpomalení nárůstu pevností, množství vývinu hydratačního tepla či dlouhodobé nárůsty pevností. Tím, že ovlivníme chemickou reakci a zlepšíme požadované vlastnosti, mohou nastat jiné negativní vlivy na ostatní průběhy reakce či ovlivnění konečné kvality betonu.

## 3.4 Lidský faktor

Míra vlivu lidského faktoru je určena způsobem výroby prefa prvků. Je-li výroba plně automatizována není lidský faktor natolik rozhodující. Pokud se jedná o výrobu stacionárním způsobem, je výroba výrazně ovlivňována. Celková doba výroby betonového prvku je ovlivňována lidským faktorem nejen ve fázi samotné realizace, ale i ve fázi přípravné.

**Fáze přípravy** Rozhodujícím faktorem je návrh organizace celého systému výroby. Pokud bude výrobní linka navržena jako stacionární, předpokládá se menší výkonnost linky se zaměřením na specifické prvky s malou opakovatelností. Pro velkoobjemovou výrobu často opakovatelných prvků, bude volena spíše linka carrouselová.

Návrh jednotlivých prvků statikem by měl být proveden s přihlédnutím na náročnost výroby. Čím složitější návrh prováděného prvku bude, tím větší bude časová náročnost výroby. Není vhodné navrhovat netradiční materiály či parametry, kde může být problematické jejich dostupnost, či doba dodání. Vhodná je volba běžně používaných materiálů a jejich rozměrů.

**Fáze výrobní** V neposlední řadě je to organizace celé výroby a optimalizace množství pracovníků s ohledem na velikost produkce. Množství pracovníků by mělo být voleno s přihlédnutím k objemu výroby, ale zároveň je nutné uvažovat nad mírou využitelnosti pracovníků. Samotná výkonnost pracovníků je závislá na finančním ohodnocení a podmínkách určených firmou.

### 3.5 Ostatní faktory

Tyto faktory zahrnují veličiny, které nejsou běžně ovlivnitelné, ale dokáží výrobu velice zpomalit nebo dokonce zastavit. Jedná se například o dodávky materiálů, které se mohou neplánovaně zpozdit nebo zcela zastavit. Důvodem může být velikost produkce a s ní spojené omezení či vyčerpání zásob. Tento problém omezuje hlavně dodávky kameniv a cementů. Na základě vysoké poptávky po těchto surovinách jsou některé zdroje kameniv vyčerpány nebo nemohou být dodávány v požadované kvalitě. Materiály tak musí být dopravovány z jiných, často vzdálenějších zdrojů což způsobuje prodražení a prodloužení doby zásobování a změny chování betonu při použití jiných materiálů. V případě dodávky výztuží se pak může jednat o zahlcení dodavatele objednávkami a zpomalení jejich produkce. Nepříznivým vlivem který může proces výroby zcela zastavit může být i výpadek elektrické energie (nefunkční betonárna, jeřáby i samotné betonovací stoly, apod.).

Současně může výrobu ovlivňovat i množství poptávek po výrobcích. Pokud nebude poptávka po výrobcích firmy vysoká, snahou bude procesy mírně zpomalovat, aby bylo možné zajistit práci současným pracovníkům firem.

### 3.6 Omezující faktory výroby - shrnutí

Výše uvedené faktory, které mohou ovlivňovat rychlost výroby prefabrikovaných prvků, byly pro přehlednost shrnuty v tabulce **3.1 Faktory ovlivňující výrobu prefabrikátů**.

Skupina	Součást	Faktor	Vliv
Povětrnostní podmínky	materiály	nízká nebo vysoká teplota, vítr	přílišné zpomalení/zrychlení hydratace, vznik trhlin, životnost
	pracovní pomůcky	nízká nebo vysoká teplota	přílišné zpomalení/zrychlení hydratace
	pracovníci	nízká nebo vysoká teplota	nízká efektivita práce, kvalita práce
	typ výrobní linky	volba typu linky	rychlost produkce linky
Technické zázemí výroby	doprava betonu	volba typu dopravy	rychlost dopravy, kvalita dopravovaného betonu, objem dopravy
	bednění	typ bednění, materiál	rychlost distribuce výrobků
	kamenivo	pórovitost, vlhkost, jemné částice, nežádoucí látky	zpomalení/zrychlení hydratace, pevnost, životnost
Volba materiálu	voda	množství, kvalita, teplota	zpomalení/zrychlení hydratace, pevnost, životnost
	cement	složení, pevnostní třída, jemnost mletí	zpomalení/zrychlení hydratace, pevnost, životnost
	výztuž	míra mechanizace, organizace výroby	rychlost produkce
	přísady a příměsi	typ přísady, množství	zpomalení/zrychlení hydratace, zpracovatelnost
		kvalita návrhu, opakovatelnost	rychlost produkce
Lidský faktor	-	organizace práce, plán výroby	rychlost produkce
		množství pracovníků	rychlost produkce
Ostatní faktory		rychlost dodávek	rychlost produkce
	-	kvalita materiálu	rychlost produkce, kvalita produkce
		poptávka	rychlost produkce

Tabulka 3.1: Faktory ovlivňující výrobu prefabrikátů

Název	Chemický vzorec	Charakteristická vlastnost	Vývin hydratačního tepla [kJ/kg]	Procentuální zastoupení v cementu [%]
Trikalciumsilikát - „Alit“	C <sub>3</sub> S	počáteční pevnost	500	37 - 75
Dikalciumsilikát - „Belit“	C <sub>2</sub> S	konečná pevnost	250	5 - 40
Trikalciumaluminát	C <sub>3</sub> A	rychlost tuhnutí	910	3 - 15
Tetrakalciumaluminátferit - „Celit“	C <sub>4</sub> AF	pomalý nárůst pevnosti	420	9 - 14
Oxid vápenatý	CaO	pomalá hydratace	1160	≤ 4
Oxid hořečnatý	MgO	pomalá hydratace	-	≤ 6

Tabulka 3.2: Slímkové minerály a jejich vlastnosti [20]

# Kapitola 4

## Stávající stav výroby

Problematika zvýšení efektivity výroby prefabrikovaných prvků byla zkoumána v části výrobního závodu PREFA PRAHA a.s. Podrobné řešení problematiky zvýšení výrobních kapacit bylo zaměřeno na výrobní halu č. 4, která se zabývá i výrobou stěnových prvků.

### 4.1 Výrobní areál PREFA PRAHA a.s.

Areál PREFY PRAHA se nachází v pražských Malešicích, jedná se o komplex devíti výrobních hal zaměřených na výrobu prefabrikovaných prvků. Část hal je pronajímána pro výrobu prostorových prefabrikátů. V prefě jsou vyráběny prvky svislých a vodorovných nosných konstrukcí, schodiště či střešní vazníky, ale i prvky dopravních liniových staveb (protihlukové stěny, mostní prvky apod.). V areálu nalezneme veškerou potřebnou vybavenost - betonárnu, armovnu, sklady surovin i hotových výrobků.

#### 4.1.1 Výrobní haly

Konstrukce hal je tvořena skeletovými systémy se členěnými sloupy. Sloupy jsou tvarově přizpůsobeny pro vedení jeřábové dráhy. Zastřešení haly je provedeno sedlovými vazníky v kombinaci s kazetovými deskami, hřeben střechy je prosvětlem světlíky. Haly (jednotlivé lodě) jsou umístěny těsně vedle sebe, děleny jsou pouze lehkým opláštěním (kombinací kari mříží a netkané textilie). Haly jsou propojeny průběžným koridorem, který slouží převážně k čelnímu napojení na okolní objekty (laboratoře, řízení betonárny apod.). Protilehlá strana hal je přímo napojena na vnější skládku výrobků, oddělena lehkými posuvnými vraty a jeřábovou klapkou. Celkově se jedná o stavbu bez jakéhokoliv zateplení s vysokou konstrukční výškou.



### 4.1.2 Betonárna

Betonárna umístěná v komplexu PREFY PRAHA je provozována firmou CEMEX Malešice s.r.o., která zajišťuje výrobu betonu nejen pro PREFU, ale i pro další externí zákazníky. Konstrukce betonárny je vertikální, neboli věžová. Je vybavena planetovou míchačkou Liebeher o velikosti 1 m<sup>3</sup>, výroba je plně automatizovaná, řízena z ústředí betonárny. Betonárna je zásobována dopravníky z přilehlých sil, sklad kameniva je v přímé blízkosti. Kamenivo je pravidelně zaváženo pomocí kolového nakladače s čelní lopatou.



Obrázek 4.1: Betonárna CEMEX Malešice s.r.o.

### 4.1.3 Armovna

Součástí areálu je i výroba a zpracování výztuže. Část výroby je situována do hal, kde probíhá strojní ohýbání a dělení výztuže. Velká většina úkonů je vzhledem k velikosti zhotovovaných armokošů prováděna venku na zpevněných plochách areálu. Zde jsou vyvazovány převážně výztuže pro stěnové a sloupové prvky a méně rozměrné vazníky. Rozměrné a předpínané prvky jsou vyvazovány přímo na místě betonáže. V armovnách jsou připravovány pouze části výztuží, především jejich dělení a ohýbání.



Obrázek 4.2: Vyvazování armatury stěny

#### 4.1.4 Sklad výrobků

Sklady výrobků a výrobní haly jsou přímo propojeny jeřábovými drahami. Zde jsou výrobky skladovány po dobu nutného zrání před jejich expedicí na stavbu.

## 4.2 Hala pro výrobu stěnových panelů

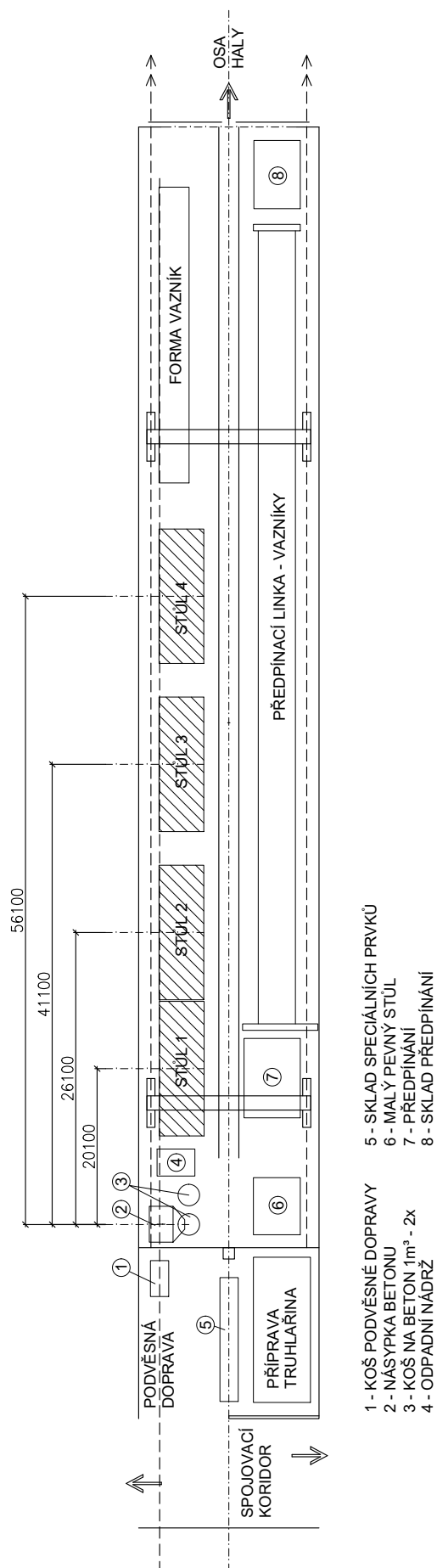
Zájmovou oblastí je jedna z hal výrobního areálu PREFA PRAHA, hala č. 4. V hale je situována výroba stěnových prvků a výroba tvarově složitějších předpřipravených vazníků. Hala je vybavena dvěma mostovými jeřáby, jejichž dráha vyúsťuje až na venkovní skladovací plochy.



Obrázek 4.3: Výrobní hala PREFA PRAHA a.s.

#### 4.2.1 Popis výrobního procesu

Výroba stěnových prvků je prováděna na soustavě 4 sklopných stolů o velikosti 4x12m. Jedná se o sklopné stoly s povrchem z voděodolné překližky, bočnice prvků jsou zhotovovány tesařsky a osazují se přímo do plochy stolu. Nanášení impregnačních přípravků je prováděno pomocí rozprašovače, přebytečný olej je stírán látkovou stěrkou. Umisťování hotového armokoše na připravené distanční prvky zajišťuje mostový jeřáb. Hala je zásobována betonem přímo z betonárny, ten je rozvážen košem podvěsné dopravy o objemu 1 m<sup>3</sup>. Beton je v přední části haly přesypáván z koše podvěsné dopravy do košů na beton o objemu 1 m<sup>3</sup>. Následně je beton přemísťován po hale v koších zavěšených na jeřábu. Vibrování panelů je zajišťováno zařízením integrovaným ve sklopném stole. Povrch panelů je manuálně upravován plastovými válci a stěrkami. Zmonolitněný prvek je ošetřen nástřikem proti vysoušení, v zimních měsících je po zavaznutí (cca 0,5-1 hodinu po zalití) zakrýván foliemi se zateplením. Pro zajištění rychlého nástupu hydratace a jeho správného průběhu jsou prvky zakrývány plachtami, pod které je vháněn teplý vzduch. Hotový panel je následující den, řádově po 16-20 hodinách, sklopen a přemístěn na venkovní skládku.



Obrázek 4.4: Schéma výroby - současný stav

## 4.3 Plán výroby

Výroba na linkách probíhá v závislosti na míře poptávky po prvcích. Směna se skládá z 10 pracovníků a 1 vedoucího pracovníka směny (mistra). Provoz je kontrolován pracovníkem OTK (odbor technické kontroly). Ve výrobě funguje jednosměnný provoz, obvykle 6:00-18:00 (12 hodinová směna). Délky směn se však mění v závislosti na potřebách výroby, tzn. délka směny se pohybuje obvykle mezi 8-12 hodinami.

Plán výroby zpracovává vedoucí závodu 2-3 týdny předem, aktuální stav prověřuje mistr výroby den před výrobou. K plánování výroby je používán software pro plánování výroby prefabrikovaných prvků BETSY (The Precast - Beton - ERP - System). Software se zaměřuje na časové a materiálové plánování výroby včetně plánu výstavby, plánování dopravy apod.

### 4.3.1 Časový snímek práce

Snímkování stávajícího stavu výroby bylo provedeno 4.9.2019, směna byla započata před 6. hodinou ranní (viz. obrázek **4.5 Časový snímek pracovního dne**). Předchozího dne byly na všech betonovacích stolech vybetonovány stěny. Stoly 1 a 2 jsou v těsné blízkosti a fungují současně. Zde bylo vybetonováno několik prvků malých rozměrů. Na stolech 3 a 4 byly vybetonované stěny o rozměrech cca 3 x 10 m.

Vzhledem k nepravdělnosti výroby byl v den sledování betonován stěnový panel pouze na jednom ze stolů. Ze zápisu snímkování je patrné, že velkou část z celkového času zabírá práce s bedněním prvků, ať už jde o zřízení nebo odstraňování. Následně prováděná betonáž prvku na 4. stole trvala celkově 25 minut, pro zmonolitnění prvku bylo nutné dopravit 3 koše betonu. V den pozorování bylo plánováno zmonolitnění dvou stěn na stolech 3 a 4. Vzhledem k nepřipravenosti armatury pro 3. stůl byla vybetonována pouze stěna na stole č. 4. Je zde také patrný značný rozdíl mezi přípravou bočnic tesařským způsobem pro jednoduché a složité stěny. Na stolech 1 a 2 bylo připravováno několik malých prvků, zatímco na stole 3 a 4 probíhala příprava jednoduchého obdélníkového lemování.

Číslo činnosti	Začátek	Konec	Doba trvání činnosti [min]	Druh prováděné činnosti		
				Stůl 1+2	Stůl 3	Stůl 4
1	5:55	6:02	7			
2	5:56	6:02	6		Odstranění tesařského lemování	Odstranění tesařského lemování
3	6:02	6:20	18	Odstranění tesařského lemování		
4	6:21	6:27	6			Zdvihání prvku
5	6:22	6:26	4	Zdvihání 1.prvku (1/3)		
6	6:29	6:31	2	Zdvihání 2.prvku (2/3)		
7	6:30	6:36	6			Čištění plochy
8	6:36	6:41	5			Bednění
9	6:44	6:48	4		Zdvihání prvku	
10	6:49	6:52	3	Zdvihání 3.prvku (3/3)		
11	6:50	6:57	7			Čištění plochy
12	6:54	7:05	11			
13	6:57	7:01	4			Bednění
14	7:02	7:08	6			Příprava povrchu
15	7:05	7:08	3			Umístění armatury
16	7:10	7:26	16	Čištění plochy		
17	7:10	7:24	14			Umístování speciálních prvků
18	7:18	7:48	30			Betonáž
19	7:26	7:54	28			Bednění
20	7:45	8:00	15			Úprava, hlazení povrchu, kropení
Celkem [hod]				<b>Nebyla prováděna betonáž</b> 1,18	<b>Dlouhé čekání na armaturu, cca 1hod</b> 0,45	1,53

Obrázek 4.5: Časový snímek pracovního dne



## 4.4 Prvotní vymezení problematických faktorů stávající výroby

V předchozích kapitolách byly teoreticky řešeny způsoby, kterými lze provádět výrobu prefabrikovaných prvků. Následným sledováním stávajícího stavu výroby byly vyměřeny aspekty, které mohou ovlivňovat rychlost výroby ve sledované prefě.

**Doprava betonu** Na základě snímkování pracovního dne, i následných pozorování výroby je zřejmé, že výrazné zpomalení výroby nastává v důsledku dopravy betonu. Problematickým je malý objem koše na beton, doba přemisťování jeřábem a nutnost tento proces několikrát opakovat pro úplné naplnění bednění.



Obrázek 4.6: Distribuce betonu

**Technická vybavenost haly** Dalším problematickým prvkem výroby je příprava bednění. Výroba bočnic, jejich umístění a přikotvení je zdlouhavé hlavně při přípravě složitějších prvků. Časová náročnost přípravy bednění stávajícím způsobem je patrná z časového snímku (viz. obrázek **4.5 Časový snímek pracovního dne**). Obecně je výroba stěnových prvků na sklopných stolech značně časově náročná.



Obrázek 4.7: Tesařské bočnice hotového prvku

**Materiál** Rozhodujícím aspektem, který určuje dobu výroby je používaná receptura betonu. Složení, které je momentálně používáno neumožňuje vyrobit více než jeden prvek na stole (v rámci jedné směny). Zkoumaná receptura bez použití urychlovačů, které jsou v prefabrikaci běžně používány, není pro tento typ výroby vhodná.

**Organizace výroby** Na základě pozorování se ukázala jako problematická samotná organizace výroby. Plány výroby pro prvky, které mají být vyrobeny jsou sestavovány 2-3 týdny dopředu, ale průběh výroby pro jejich dosažení není kontrolován. Zároveň není kontrolována interakce mezi jednotlivými částmi výroby. V důsledku toho vznikají situace, kdy výroba čeká na dosud nevyrobenou výztuž, čerstvý beton čeká v podvěsné dopravě nebo betonovacích koších na zpracování či není možné odvést hotový prvek z důvodu nedostupnosti jeřábu.

V souvislosti s organizací výroby je možné částečně řešit i špatné teplotní podmínky v hale. Vzhledem k velkým rozměrům hal a jejich konstrukčnímu řešení (jedná se o jednotlivé lodě, které mezi sebou jsou pouze dispozičně odděleny) nelze zajistit stálé vnitřní podmínky. Čerstvě vybetonované prvky jsou vystaveny průvanu, či nízkým teplotám vzniklým nedodržováním základních podmínek ošetřování betonu (zamezení průvanu, přikrývání, nízké teploty).



# Kapitola 5

## Návrh optimalizace výroby

Na základě studie možných variant řešení fungování výrobní linky, a průzkumu stávajícího stavu byly zkoumány možné způsoby řešení pro zvýšení efektivity výroby. Omezující parametry výroby byly vymezeny na základě snímku pracovního dne (viz. obrázek **4.5 Časový snímek pracovního dne**). Vzhledem k průběhu výroby v den pozorování, byly způsoby možného urychlení prověřovány nejdříve na stole č. 4 a následně upravovány pro ostatní betonovací stoly.

Řešení se zaměřuje na zachování současného stavu výroby bez nutnosti navyšovat míru technické vybavenosti nebo počtu zaměstnanců. V navrhovaných variantách bylo uvažováno se zachováním 10 zaměstnanců (+1 vedoucí směny) a délkou směny max. 12 hodin.

### 5.1 Optimalizace technické vybavenosti

V první řadě bylo nutné zaměřit se na dobu trvání jednotlivých procesů, následně na čistou celkovou dobu výroby (prozatím bez ostatních návazností na ostatní výrobu).

#### 5.1.1 Doprava a ukládání betonu

Pro urychlení dopravy a ukládání betonu bylo navrženo několik možných variant náhradního řešení. Pro řešení optimalizace byl uvažován prvek velikosti 3 m<sup>3</sup> prováděný na stole č. 4 (stůl nejvzdálenější od místa distribuce betonu). V propočtech dopravy a ukládání betonu je zanedbávána doba pro míchání betonu. Tento časový údaj byl zanedbávám vzhledem k rychlosti míchání betonu (cca 2 - 3 minuty na dávku 1 m<sup>3</sup>). Po dobu kdy je beton míchán, tak dochází k přemísťování nádob betonu či jeho ukládání, v ideálním případě tak není nutné na novou záměs čekat.

**Současný stav** V současném stavu je beton dopravován košem na beton o velikosti  $1 \text{ m}^3$ , který je přemisťován pomocí mostového jeřábu. V závislosti na velikosti betonovaného prvku musí jeřáb vzdálenost mezi betonovacím stolem a místem distribuce betonu absolvovat 3x.

Na základě snímku pracovního dne byly dopočteny tyto hodnoty:

- průměrná rychlost pohybu mostového jeřábu - 19 m/min
- doba, za kterou dojde k přemístění jeřábu od místa distribuce betonu k betonovacímu stolu - 3 min
- vyprázdnění betonovacího koše - 1 min
- konečné vyprázdnění (zpomalené cíleným umístováním a rozhrnováním betonu) - 13 min

Položka	Doba trvání [min]	Počet opakování [-]
Dopravní doba	3	5
Vyprázdnění	1	2
Konečné vyprázdnění	13	1
Doba dopravy a ukládání betonu celkem		$\Sigma 30 \text{ min}$

Tabulka 5.1: Doba dopravy a ukládání betonu - současný stav

$$= 5 \cdot 3 \text{ min (cesta)} + 2 \cdot 1 \text{ min (vyprázdnění)} + 13 \text{ min (konečné vyprázdnění)} = \Sigma 30 \text{ min}$$

#### 5.1.1.1 Zvětšení betonovacího koše

Jedná se o nejjednodušší způsob, jakým je možné urychlit dopravu betonu vzhledem k současně používanému systému. S použitím koše o vyšším objemu se ušetří čas pro návrat koše zpět k místu plnění. Vstupní hodnoty pro výpočet (rychlost pohybu jeřábu, umístění stolu vzhledem k místu distribuce betonu, velikost prvku) jsou totožné jako u stávajícího stavu. Pro nový stav 1 bylo navrženo zvětšení objemu betonovacího koše na  $2,5 \text{ m}^3$ .

Položka	Doba trvání [min]	Počet opakování [-]
Dopravní doba	3	3
Vyprázdnění	1	1
Konečné vyprázdnění	13	1
Doba dopravy a ukládání betonu celkem		$\Sigma 23 \text{ min}$

Tabulka 5.2: Doba dopravy a ukládání betonu - nový stav 1

**Nový stav 1**

$$= 3 \cdot 3 \text{ min (cesta)} + 1 \cdot 1 \text{ min (vyprázdnění)} + 13 \text{ min (konečné vyprázdnění)}$$

$$= \Sigma 23 \text{ min}$$

**5.1.1.2 Rozprostírač + podvěsná doprava**

Hala pro výrobu prefabrikátů byla ve stávajícím stavu vybavena podvěsnou dopravou. Dráha podvěsné dopravy je provedena po celé délce haly, avšak není používána. Tento způsob dopravy může být používán v kombinaci s rozprostíračem. Výhodou použití rozprostírače je nejen úspora času při ukládání betonu, ale zároveň urychlení fáze úpravy povrchu prvku. Tento způsob úspory času bychom uvažovali při použití rozprostírače s integrovaným šnekovým nebo lopatkovým rozprostíračem (se základní úpravou povrchu).

Pro výpočet dopravní doby a doby ukládání nebyla uvažována časová prodleva pro umístování betonu. Vůz podvěsné dopravy ihned po příjezdu jednorázově vyprázdní nádobu a vrací se zpět. Ukládání betonu rozprostíračem do bednění je tak prováděno současně s přemísťováním koše podvěsné dopravy do betonárny.

**Nový stav 2**

- podvěsná doprava s nádobou o velikosti 1 m<sup>3</sup>
- rozprostírač s objemem násypky 1 m<sup>3</sup>
- dopravní rychlost podvěsné dopravy 25-160 m/min - zvolena průměrná hodnota 90 m/min
- dopravní vzdálenost podvěsné dopravy - 108,2 m (vzdálenost betonárna - betonovací stůl 4), doba dopravy 1,22 min

Položka	Doba trvání [min]	Počet opakování [-]
Dopravní doba	1,22	5
Vyprázdnění	-	-
Konečné vyprázdnění	-	-
Doba dopravy a ukládání betonu celkem		$\Sigma 7 \text{ min}$

Tabulka 5.3: Doba dopravy a ukládání betonu - nový stav 2

$$= 5 \cdot 1,22 \text{ min (cesta)} = \Sigma 7 \text{ min}$$

### 5.1.1.3 Betonovací most + podvěsná doprava

Použití betonovacího mostu bude časově totožné jako u rozprostírače, kde je doba ukládání betonu závislá na rychlosti podvěsné dopravy. Výhodou tohoto způsobu je možnost obslužení celé haly včetně přidružené výroby vazníků. Betonovací mosty ale oproti rozprostíračům nemají integrovanou úpravu povrchu prvku, tudíž nenastává úspora času úpravou povrchu.

#### Nový stav 3

- podvěsná doprava s nádobou o velikosti  $1 \text{ m}^3$
- betonovací most s objemem  $1 \text{ m}^3$
- dopravní rychlost podvěsné dopravy 25 - 160 m/min - zvolena průměrná hodnota 90 m/min
- dopravní vzdálenost podvěsné dopravy - 108,2 m (vzdálenost betonárka - betonovací stůl 4), doba dopravy 1,22 min

Položka	Doba trvání [min]	Počet opakování [-]
Dopravní doba	1,22	5
Vyprázdnění	-	-
Konečné vyprázdnění	-	-
Doba dopravy a ukládání betonu celkem		$\Sigma 7 \text{ min}$

Tabulka 5.4: Doba dopravy a ukládání betonu - nový stav 3

$$= 5 \cdot 1,22 \text{ min (cesta)} = \Sigma 7 \text{ min}$$

### 5.1.2 Bednění

Pro řešení dalších omezení výroby je nutné zaměřit se na práci s lemováním budoucího prvku. Jelikož se jedná o manuálně prováděnou činnost, kterou není možné vyjádřit na základě popsané rychlosti výroby, bylo řešení optimalizace provedeno úvahovou metodou. Předpokladem pro další úvahy nad záměnou systému lemování prvků je změna typu povrchu z voděodolné překližky za povrch z ocelového plechu. Použitím plochy z ocelového plechu bude docíleno nejen vyšší životnosti betonovací plochy, ale také kvalitnějšího povrchu zhotovovaných plošných prvků.

**Ocelové magnetické lemování s bočnicemi z voděodolné překližky** Zmíněná varianta částečně pomůže pro rychlejší a přesnější způsob lemování bez poškozování bednicí plochy stolu. Jelikož se jedná o téměř totožný systém (ocelové nosnice bočnic jsou osazovány překližkou), nelze uvažovat nad znatelnou úsporou času. Výhodou tohoto řešení je zkvalitnění výroby s úsporou používané překližky.

**Celokovové magnetické lemování** Princip úvahy nad záměnou typu lemování je totožný jako u předešlého způsobu. Úsporu lze uvažovat v případě, pokud jsou pro výrobu využity doplňky, které lze magnety připevňovat k bokům bednění. Jedná se o systém přídržných nástavců, které drží na určeném místě například závěsné kotvy prvku a není je nutné složitě kotvit k výztuži. Při vyjmutí panelu z formy je tento nástavec vyšroubován a je opakovatelně použitelný. Použitím tohoto doplňkového systému nabízeného výrobcem celokovového lemování lze čas počítaný pro umístování speciálních prvků zkrátit na minimum. [21]

#### 5.1.2.1 Propočet časové náročnosti

Použití výše zmíněných variant bednění vzhledem ke snadnému způsobu připevňování bočnic dokáže zvýšit efektivitu provádění srovnatelným způsobem. Při úvaze nad usnadněním připevnění speciálních prvků do bednění byla zvolena varianta celokovového magnetického lemování. Speciální prvky lze ke kovovým bočnicím připevňovat magnety. Odpadá tím pracné umístování a zajišťování pomocí drátů.

Pro teoretický propočet délky trvání provádění bednění byly uvažovány práce na stole č. 4. Velikost bedněného prvku - cca 2,5 x 6 x 0,2 m, délka lemování 11 m, doba provádění lemování 5 minut (dle časového snímku dne, viz obrázek 4.5 Časový snímek pracovního dne). Proces provádění bednění se skládá z manipulace s lemováním (rozhoduje hmotnost), umístění lemování na plochu a jeho připevnění.

- Tesařsky prováděné bednění (současný stav)
  - celková doba provádění 5 min - pro uvažovanou délku lemování 11 m (viz. obrázek 4.5 Časový snímek pracovního dne)
  - plošná hmotnost voděodolné překližky tl. 21 mm - 12,6 kg/m<sup>2</sup>
  - připevnění cca 5 hřebíků/m (uvažováno přibití 4 s/hřebík)

Kotvení/m [ks]	Připevnění [s]	Délka lemování [m]	Připevnění [min]
5	4	11	3,7

Tabulka 5.5: Dupočet doby trvání - tesařské lemování

$$= 5 \text{ hřebíků/m} \cdot 4 \text{ s/hřebík} = 20 \text{ s} \cdot 11 \text{ m lemování} = \Sigma 3,7 \text{ min}$$

Z celkové doby provádění 5 minut bylo 3,7 minuty prováděno připevňování bednění. Přesun a umístění bednění tedy trvalo 1,3 minut.

- Celokovové magnetické lemování (navržený stav)
  - plošná hmotnost ocelového plechu tl. 3 mm - 23,5 kg/m<sup>2</sup> (přibližně dvojnásobek oproti voděodolné překližce)
  - připevnění cca 2 magnety/m (připevnění sešlápnutím 1 s/magnet)

Kotvení/m [ks]	Připevnění [s]	Délka lemování [m]	Připevnění [min]
2	1	11	0,4

Tabulka 5.6: Propoččet doby trvání - celokovové magnetické lemování

$$= 2 \text{ magnety/m} \cdot 1 \text{ s/magnet} = 2 \text{ s} \cdot 11 \text{ m lemování} = \Sigma 0,4 \text{ min}$$

Použitím ocelového lemování, které je výrazně těžší se prodlouží doba přesunu a umístování přibližně dvojnásobně na 2,6 min (= 2 · 1,3 min, na základě plošné hmotnosti materiálu). Připevňování lemování bude prováděno 0,4 min.

Celkově by provádění bednění při použití celokovového lemování trvalo 3 minuty (= 0,4 min lemování + 2,6 min přesun a umístění).

	Kotvení/m [ks]	Připevnění/ks [s]	Lemování [min]	Přemístění, umístění [min]	Celkem [min]
Tesařské lemování	5	4	3,7	1,3	5
Magnetické lemování	2	1	0,4	2,6	3

Tabulka 5.7: Porovnání stávajícího a nového způsobu lemování

Porovnáním těchto metod byla zjištěna možná úspora času 40% při použití celokovového lemování připevňovaného magnety.

### 5.1.3 Navržené vybavení výroby

Na základě předešlé studie možností provádění prefabrikovaných prvků, průzkumu stávajícího stavu a propočtu variant řešení byly pro optimalizaci rychlosti výroby navrženy následující opatření.

1. Výměna povrchu betonovacího sklopného stolu (vytvářecí plochy) za povrch z ocelového leštěného plechu.
2. Použití magneticky připevňovaných ocelových bočnic (viz. tabulka **5.6 Pro-počet doby trvání - celokovové magnetické lemování**).
3. Použití magneticky připevňovaných úchytků pro speciální prvky (připevnění k ocelových bočnicím či povrchu formy).
4. Zřízení nového způsobu dopravy betonové směsi - podvěsná doprava a rozprostírač s úpravou povrchu (Nový stav 2, viz. tabulka **5.3 Doba dopravy a ukládání betonu - nový stav 2**).

## 5.2 Optimalizace délek trvání jednotlivých činností

Pro simulaci fungování systému v celé hale byla dle průběhu výroby na stole č. 4 domodelována výroba na ostatních stolech. Při modeláži byly zanedbány vzniklé problémy s chybějící výztuží, a navázáním průběhu výroby.

### 5.2.1 Modelace průběhu výroby na ostatních stolech

**Příprava povrchu** Příprava povrchu na stole č. 4 trvala 11 minut, na stole č. 3 trvala 6 minut. Na stolech byly vyráběny srovnatelně velké prvky s objemem do  $3\text{ m}^3$ . Na stolech 1 a 2 byly vyráběny rozměrově menší prvky, které byly tvarově složitější. Doba strávená na jejich přípravě je teoreticky totožná, tedy 6 minut pro stůl 2 (1prvek o  $1\text{ m}^3$ ) a 11 minut pro stůl 1 (zde byly vyráběny 2 prvky o  $1\text{ m}^3$ ).

**Umístění armatury** Předpokladem pro propočet doby výroby je včasné dodání připravené výztuže z armovny. Následné ukládání výztuže je závislé na rychlosti jeřábu a jeho obsluze. Rozměr armokoše není při úvaze nad dobou jeho manipulace nijak rozhodující. Bylo tedy vycházeno se stejné doby ukládání výztuže jako u 3. a 4. stolu.

**Umístění speciálních prvků** Obdobná úvaha jako při umisťování armatury byla provedena i v tomto případě. Počet umisťovaných speciálních prvků není ovlivněn velikostí panelu, pouze počtem panelů na sklopném stole. U stolů 2, 3 a 4 je doba ukládání totožná, u stolu 1 je doba dvojnásobná kvůli provádění 2 ks panelů na jedné ploše současně.

**Betonáž** Doba provádění betonáže je závislá na dopravě betonu, tedy jeho dopravní vzdálenosti. Byla uvažována rychlost jeřábu 19 m/min a velikost betonovacího koše 1 m<sup>3</sup>. Dopravní vzdálenosti jednotlivých stolů od zdroje betonu v hale je znázorněn ve schématu haly na obrázku **4.4 Schéma výroby - současný stav**

- Stůl 1 - dopravní vzdálenost 20,1 m

Položka	Doba trvání [min]	Počet opakování [-]
Dopravní doba	$\frac{20,1}{19} \cong 1$	3
Vyprázdnění	-	-
Konečné vyprázdnění	13	2
Doba dopravy a ukládání betonu celkem		$\Sigma 29$ min

Tabulka 5.8: Doba dopravy a ukládání betonu - modelace stůl 1

$$= 3 \cdot 1 \text{ min (cesta)} + 2 \cdot 13 \text{ min (konečné vyprázdnění)} = \Sigma 29 \text{ min}$$

Na stole č. 1 byly betonovány dva malé prvky o velikosti 1 m<sup>3</sup>. Dopravní doba je vypočtena z dvojnásobné cesty k místu distribuce betonu. Jelikož se jedná o malé prvky, doba ukládání betonu je počítána jako konečné ukládání.

- Stůl 2 - dopravní vzdálenost 26,1 m

Položka	Doba trvání [min]	Počet opakování [-]
Dopravní doba	$\frac{26,1}{19} \cong 1,4$	1
Vyprázdnění	-	-
Konečné vyprázdnění	13	1
Doba dopravy a ukládání betonu celkem		$\Sigma 15$ min

Tabulka 5.9: Doba dopravy a ukládání betonu - modelace stůl 2

$$= 1 \cdot 1,4 \text{ min (cesta)} + 1 \cdot 13 \text{ min (konečné vyprázdnění)} = \Sigma 15 \text{ min}$$

Na stole č. 2 byl betonován jeden prvek o velikosti 1 m<sup>3</sup>. Dopravní doba je vzhledem k velikosti prvku počítána pouze jednou, se započtením konečného ukládání.



- Stůl 3 - dopravní vzdálenost 41,1 m

Položka	Doba trvání [min]	Počet opakování [-]
Dopravní doba	$\frac{41,1}{19} \cong 2,2$	5
Vyprázdnění	1	2
Konečné vyprázdnění	13	1
Doba dopravy a ukládání betonu celkem		$\Sigma 26 \text{ min}$

Tabulka 5.10: Doba dopravy a ukládání betonu - modelace stůl 3

$$= 5 \cdot 2,2 \text{ min (cesta)} + 2 \cdot 1 \text{ min (vyprázdnění)} + 1 \cdot 13 \text{ min (konečné vyprázdnění)} = \Sigma 26 \text{ min}$$

Na stole č. 3 byl betonován jeden prvek o velikosti  $3 \text{ m}^3$ . Dopravní doba je započtena 5x vzhledem k velikosti prvku, se započtením konečného ukládání.

**Úprava povrchu** Délka procesu úpravy povrchu je závislá na velikosti prvku. Modelované hodnoty poměrově odpovídají délce procesu na stole č.4. Úprava povrchu na prvku o velikosti  $3 \text{ m}^3$ , na stole č. 4 trvala 15 minut. Na základě velikosti prvků na ostatních stolech byla upravena doba úpravy jejich povrchu.

- Stůl 1 -  $15 \text{ min}/3 \text{ m}^3 = 5 \text{ minut}$  (úprava povrchu na  $1 \text{ m}^3$ )  $\cdot 2 \text{ prvky} = 10 \text{ minut}$
- Stůl 2 -  $15 \text{ min}/3 \text{ m}^3 = 5 \text{ minut}$  (úprava povrchu na  $1 \text{ m}^3$ )
- Stůl 3 - velikost prvku stejná jako na 4. stole, doba úprav je totožná =  $15 \text{ minut}$

Činnost	Název činnosti	Stůl 1 [min] 2*1 m <sup>3</sup>	Stůl 2 [min] 1 m <sup>3</sup>	Stůl 3 [min] 3 m <sup>3</sup>	Stůl 4 [min] 3 m <sup>3</sup>
1	Odstranění lemování	12	6	6	7
2	Zdvihání prvku	6	3	4	6
3	Čištění plochy	10	6	7	6
4	Bednění	22	6	4	5
5	Příprava povrchu	11	6	6	11
6	Umístění armatury	4	4	4	3
7	Umístění speciálních prvků	28	14	14	14
8	Betonáž	23	11	23	30
9	Úprava povrchu	10	5	15	15
	Celkem [hod]	2,10	1,02	1,38	1,62

Legenda:

Naměřený stav

Domodelované hodnoty

Obrázek 5.1: Doby trvání jednotlivých činností - modelace

### 5.2.2 Optimalizace průběhu výroby

Doby trvání operací na jednotlivých stolech byly upraveny započtením navržených opatření pro zkrácení dob trvání výroby:

1. Použití celokovových bočnic s magnetickým připevněním - doba bednění a odbednění byla zkrácena na 60 %
2. Lemování celokovovými bočnicemi umožní připevňování části speciálních prvků pomocí magnetů - doba provádění zkrácena o 50 %
3. Betonáž bude prováděna kombinací podvěsné dopravy a rozprostírače - doba ukládání závislá pouze na času dopravy betonu podvěsnou dopravou (vzdálenost začátku haly a betonárny - 52,1 m), rychlost podvěsné dopravy 90 m/min. Reálně dopočtené hodnoty níže jsou navýšeny o cca 1 minutu, která slouží jako provozní koeficient pro započtení prodlev výroby (zastavení, najetí na pozici, načtení systému, apod.)

- Stůl 1 - vzdálenost od betonárny (52,1 m + 20,1 m = 72,2 m) =  $\frac{72,2 \text{ m}}{90 \text{ m/min}} = 0,8 \text{ min}$  (1 cesta) · 3 cesty = 2,4 min  $\Rightarrow$  4 min

- Stůl 2 - vzdálenost od betonárny (52,1 m + 26,1 m = 78,2 m) =  $\frac{78,2 \text{ m}}{90 \text{ m/min}} = 0,9 \text{ min}$  (1 cesta) · 1 cesta = 0,9 min  $\Rightarrow$  2 min

- Stůl 3 - vzdálenost od betonárny (52,1 m + 41,1 m = 93,2 m) =  $\frac{93,2 \text{ m}}{90 \text{ m/min}} = 1,04 \text{ min}$  (1 cesta) · 5 cest = 5,2 min  $\Rightarrow$  6 min

- Stůl 4 - vzdálenost od betonárny (52,1 m + 56,1 m = 108,2 m) =  $\frac{108,2 \text{ m}}{90 \text{ m/min}} = 1,22 \text{ min}$  (1 cesta) · 5 cest = 6,1 min  $\Rightarrow$  7 min

4. Úprava povrchu je částečně prováděna přímo rozprostíračem, manuálně dochází pouze k začištění a provedení konečné úpravy - doba zkrácena na 50 %

Vyčíslení změn dob trvání jednotlivých činností bylo vyčísleno v tabulce na obrázku **5.2 Doby trvání jednotlivých činností - optimalizace**.

Činnost	Název činnosti	Stůl 1 [min] 2*1 m <sup>3</sup>	Stůl 2 [min] 1 m <sup>3</sup>	Stůl 3 [min] 3 m <sup>3</sup>	Stůl 4 [min] 3 m <sup>3</sup>
1	Odstranění lemování	8	4	4	5
2	Zdvihání prvku	6	3	4	6
3	Čištění plochy	10	6	7	6
4	Bednění	14	4	3	3
5	Příprava povrchu	11	6	6	11
6	Umístění armatury	4	4	4	3
7	Umístění speciálních prvků	14	7	7	7
8	Betonáž	4	2	6	7
9	Úprava povrchu	5	3	8	8
	Celkem [hod]	1,27	0,65	0,82	0,93

Legenda:

Naměřený stav
Domodelované hodnoty
Optimalizované hodnoty

Obrázek 5.2: Doby trvání jednotlivých činností - optimalizace

### 5.3 Optimalizace organizace výroby

Průběh výroby na sklopných stolech je výrazně závislý na typu vyráběných panelů. Na základě tohoto faktu nelze jednoznačně určit obecnou systematiku organizace práce, která bude fungovat pro veškeré typy vyráběných prvků. Současný průběh prací na výrobní lince je značně neuspořádaný. Práce jsou prováděny dle momentální potřeby výroby a organizace pracovníků není systematicky řízena.

Úvaha nad organizací výroby a uspořádáním pracovních čtí byla teoreticky řešena na optimalizovaném případě v předešlé kapitole **5.2 Optimalizace délek trvání jednotlivých činností**. Pro řešení organizace výroby byla zachována současná sestava pracovní čety - 10 pracovníků na směně, 1 vedoucí pracovník (mistr). Pro plynulý postup výroby byla zvolena souběžná metoda výroby s nerytmickým taktem (vzhledem k různé době trvání prací na jednotlivých pracovištích). Vzhledem k povaze prováděných prací byly jednotlivé procesy navazovány vazbou konec - začátek, jelikož není možné na stolech provádět navazující práce před ukončením předchozích.

Vzhledem k velikosti a časové náročnosti provádění prvků bylo uvažováno rovnoměrné rozmístění pracovní čety.

- Stůl 1 (zhotovovaný prvek - 2 x 1m<sup>3</sup>) - 3 pracovníci
- Stůl 2 (zhotovovaný prvek - 1 m<sup>3</sup>) - 2 pracovníci
- Stůl 3 (zhotovovaný prvek - 3 m<sup>3</sup>) - 2 pracovníci

- Stůl 4 (zhotovovaný prvek -  $3\text{ m}^3$ ) - 3 pracovníci

Optimalizovaný časový harmonogram výroby bez zahrnutí organizace pracovníků viz příloha **B Harmonogram optimalizovaného stavu - bez organizace výroby**.

### 5.3.1 Řešení organizace výroby

Organizace výroby byla řešena především stanovením pracovních čet a jejich postupem. Při podrobném zkoumání průběhu prací na jednotlivých stolech zachyceném v časovém harmonogramu stávajícího stavu (viz příloha **A Harmonogram původního stavu - domodelovaný**) bylo zjištěno, že limitující je výroba na stole č.1. Je zde vyráběno více malých, tvarově složitějších prvků. Práce jsou prováděny řádově déle než na ostatních stolech. Optimalizace byla cílena na využití volných pracovních kapacit z ostatních stolů na výpomoc pro urychlení výroby na stole č.1.

Některé z prováděných úkonů lze uskutečnit pouze určitým množstvím pracovníků. Navýšení počtu pracovníků tudíž dobu provádění neovlivní. Na základě tohoto faktu tak v určitých činnostech vznikají volné pracovní síly, které je možné využít jinde. Tito pracovníci byli uvažováni jako výpomoc při pracích na stole č.1 v krátkých časových intervalech, čímž urychlili jejich průběh. Vliv krátkodobého navýšení pracovníků ve skupině pracujících na stole č.1 je shrnut v harmonogramu v příloze **C Harmonogram optimalizovaného stavu - s organizací výroby**.

**Zdvihání prvků** Doba provádění zdvihání prvků zahrnuje navázání manipulačních úchytnů, zaháknutí ok na jeřáb, sklopení stolu a manipulaci s prvkem na skládku. V době, kdy je prvek upevňován na jeřáb, provádí práce celá četa. V době sklápění a manipulace s prvkem pracuje pouze jeden pracovník obsluhující jeřáb. Další pracovníci mohou navýšit pracovní četou na stole 1. Počet pracovníků se pro odstraňování tesařského lemování na stole 1 na poslední 2 minuty provádění teoreticky navýší na 5 pracovníků. Průběh provádění poslední části se zkrátí o polovinu - zde 1 minuta.

**Příprava povrchu** Tento úkon provádí pouze 2 pracovníci, jeden aplikuje odbedňovací olej, druhý roztírá. Teoreticky by bylo možné uvolnit zbylé pracovníky ze stolů 2 a 3, ale vzhledem k velikosti čet o 2 pracovnících to není možné. Jediný možný přesun je možný u stolu č. 4, kde pracují 3 pracovníci. Po dobu provádění úpravy povrchu na stole č.4, byli uvažováni pro výpomoc na zhotovování bednění pro stůl č. 1. Tímto přesunem dojde k navýšení pracovníků na stole č. 1 na 4 pracovníky, a to na více než polovinu doby provádění bednění. Navýšení počtu

pracovníků z počtu 3 na 3,5 (tj. teoreticky dle doby možné výpomoci), čímž bude doba provádění zkrácena o 2 minuty.

**Umístění armatury** Obdobným způsobem je prováděno ukládání výztuže, pracují zde pouze 2 pracovníci (obsluha jeřábu, manipulant). Využití volného pracovníka ze stolu č. 4 by již nebylo efektivní. Výpomoc by přicházela v úvahu pro bednění na stole č. 1, ale počet pracovníků by byl navýšen na 5, což by vzhledem k velikosti pracovní plochy bylo spíše omezující pro ostatní pracovníky.

**Úprava povrchu** Povrchové úpravy jsou prováděny jedním pracovníkem z důvodu, aby se navzájem nenarušoval průběh provádění (např. hlazení povrchu nelze provádět současně ze dvou stran prvku). Ostatní pracovníci se mohou přemístit na stůl č. 1. Po dobu 8 minut z celkových 11 min budou na stole pracovat 4 pracovníci (střídavě ze stolů 3 a 4), čímž se doba provádění přípravy povrchu na stole č.1 zkrátí o 2 minuty. Navýšení pracovních sil pro úpravu povrchu stolu č. 1 bylo účelné pouze v případě umístění dvou prvků na stole.

Po dobu konečných úprav povrchu na stole č. 4 budou 2 zbylí pracovníci přemístěni na umístování speciálních prvků na stůl č. 1. Po dobu 8 minut z celkových 14 min bude na stole č.1 pracovat 5 pracovníků. Tímto přesunem se celková doba umístování speciálních prvků na stole č. 1 zkrátí o 3 minuty.

Úpravami organizace práce na jednotlivých stolech by byla celková doba výroby zkrácena o 8 minut.

### 5.3.2 Zásady celopodnikové organizace

Řešený systém výroby je silně závislý i na součinnosti ostatních částí výroby mimo samotnou halu (armovna, betonárna, sklad). Možnost urychlení výroby je zahrnuta především v prvotní fázi výroby. Délka procesu od odbednění hotového prvku, až po zabetonování nové formy je pro délku procesu rozhodující. Pro správné fungování procesu přípravy a betonáže musí být nastaveny pravidla fungování. Časové rozmezí je určeno na základě optimalizovaného časového harmonogramu výroby.

1. Dva mostové jeřáby haly jsou v době odbedňování a přemísťování prvků využívány výhradně pracovníky zajišťující výrobu stěnových prvků. Jedná se o dobu od začátku směny, minimálně po dobu 25 minut (6:00 - 6:25), nebo po svolení pracovníka výroby stěnových prvků.
2. Výroba armokošů se musí řídit plánem výroby vydaným vedením podniku. Požadované armokoše, dle plánu výroby musí být připraveny pro výrobu nejpozději v době započetí prací na lince pro výrobu stěnových prvků.

3. V době betonáže prvků musí být betonárna předem informována o velikosti dodávky betonu potřebné pro výrobu prefa stěnových prvků. Zmonolitnění prefa prvků musí být časově prioritní, pokud to výroba betonu dovolí.

# Kapitola 6

## Optimalizace výrobních receptur

Prováděná optimalizace byla aplikována převážně na technické zázemí výroby a druhy dopravy. Pro další možné zefektivnění celého koloběhu výroby bylo nutné se zaměřit na současně používanou recepturu betonu.

### 6.1 Současný stav

Stěnové panely jsou v současné době vyráběny z betonu C45/55. Cement pro výroby je vyráběn přímo firmou CEMEX, není externě dodáván. Jedná se o cement CEM I 52,5 R VL bezchromátový, tedy o portlandský rychlovazný cement volně ložený. Kamenivo je dodáváno z několika lokalit dle frakce kameniva. Místa dodání jsou obměňována dle momentální nabídky lomů a pískoven, a zároveň podle dostupnosti požadovaných frakcí v dané lokalitě. Frakce 0/4 je dodávána z lomu Křenek (okres Praha - východ), frakce 4/8 z lomu Smiřice (okres Hradec Králové) a frakce 8/16 z lomu Zlosyň (okres Mělník). U všech zastoupených lokalit se jedná o přírodní těžené kamenivo. Do betonů je používána čistá voda z vodovodního řadu.

Jako příměs s funkcí stabilizace (snižuje odlučnost vody) je do betonu přidáván mletý vápenec. Dále je do betonu přidávána superplastifikační přísada na bázi polykarboxylátů MasterGlenium SKY 623 pro lepší zpracovatelnost. Plastifikátory i další přísady do betonu jsou dodávány firmou BASF.

Materiál	Množství [kg]	Vlhkost [%]
Cement - CEM I 52,2 R VL bezchromátový	380	-
Přírodní těžené kamenivo - frakce 0/4	785	5,08
Přírodní těžené kamenivo - frakce 4/8	185	2,56
Přírodní těžené kamenivo - frakce 8/16	660	1,36
Superplastifikátor MasterGlenium SKY 623	6	-
Obecný mletý vápenec	160	-
Voda čistá	180	-

Tabulka 6.1: Receptura pro 1m<sup>3</sup>- současný stav

S použitím této receptury je možné prvky zvedat po 16 - 20 hodinách. Pevnost betonu zjišťovaná na zkušebních krychlich dosahuje po 24 hodinách pevností kolem 45 MPa.

## 6.2 Optimalizovaná receptura - zkoušky

Vzhledem k velkým teplotním rozdílům, tudíž i rozdílnému chování betonu, byly zkoušky materiálů prováděny pro letní a zimní období. Zkoušky byly řešeny formou sledování nárůstu počáteční pevnosti u čerstvého betonu do minimálních možných hodnot pro zdvih stěn (statikem ve výkresové dokumentaci uvedeno 15 MPa). Pro ověření naměřených hodnot nárůstu pevností bylo provedeno ověření na reálně prováděné stěně včetně zdvihu.

Při zhotovování prvních vzorků byly provedeny základní zkoušky čerstvého betonu.

- Zkouška konzistence rozlitím (Flow test)

Pro zkoušky byl použit normový kónický jehlan průměru 200 mm, a výšky 200 mm. Byly naměřeny hodnoty  $d_1 = 66$  mm,  $d_2 = 64,5$  mm (průměr 65,25 mm) - což odpovídá konzistenci F6.



Obrázek 6.1: Zkouška rozlitím - Flow test



- Skutečný obsah vody - zkouška výparem

Stanovení reálného množství vody obsažené v betonové směsi byla provedena zkouškou výparem. Vzorek betonu o váze 5 kg byl v ocelové nádobě zahříván plynovým hořákem. Došlo k maximálnímu vysušení do prachového stavu. Vážením vzorku ve vysušeném stavu bylo zjištěno množství vody 0,437 kg. S přepočtem množství cementu na velikost vzorku byla vypočtena hodnota vodního součinitele 0,49.



Obrázek 6.2: Zkouška výparem

## 6.2.1 Optimalizovaná receptura - letní měsíce

### 6.2.1.1 Receptura

Pro zajištění rychlejšího nárůstu počáteční pevnosti byla původní receptura vylepšena především přidáním urychlovače tuhnutí, který v současně používané receptuře chybí.

Materiál	Množství [kg]	Vlhkost [%]
Cement - CEM I 52,2 R VL bezchromátový	410	-
Přírodní těžené kamenivo - frakce 0/4	745	4,7
Přírodní těžené kamenivo - frakce 4/8	160	2,86
Přírodní těžené kamenivo - frakce 8/16	720	1,39
Urychlovač - Master X-Seed 100	8,2	-
Superplastifikátor - MasterGlenium SKY 623	5	-
Přísada modifikující viskozitu MasterMatrix SDC 180	0,8	-
Obecný mletý vápenec	140	-
Voda čistá	170	-
Voda korekční	16	-

Tabulka 6.2: Receptura pro 1 m<sup>3</sup>- nová receptura - léto

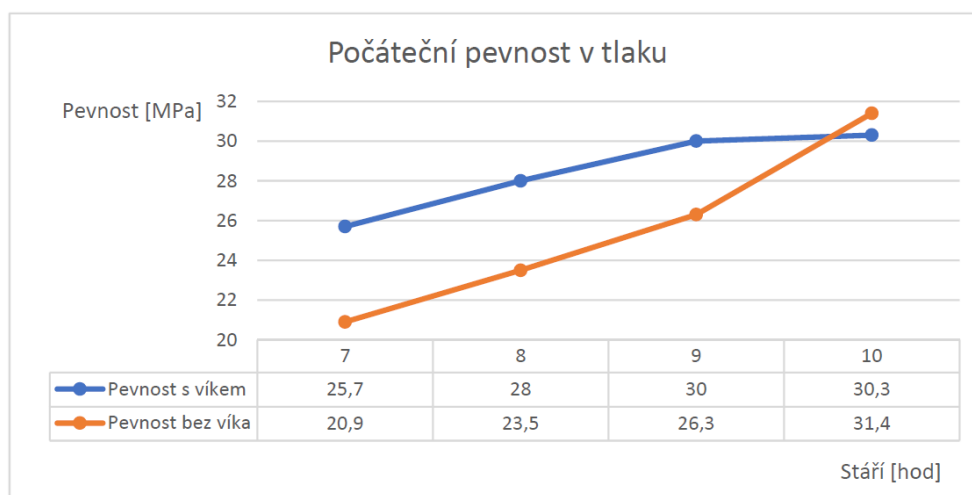
Pro zajištění rychlejšího nárůstu počáteční pevnosti byla receptura upravena (oproti původně používané variantě).

1. Přidání urychlovače tuhnutí Master X-Seed 100, obsah 0,35% objemu
2. Zvýšení množství cementu - rychlejší nárůst pevnosti, vyšší výsledná pevnost
3. Navýšení hrubé frakce kameniva 8/16 - vyšší výsledná pevnost, nižší spotřeba cementu
4. Přidání přísady modifikující viskozitu Master Matrix SDC 180 (tzv. stabilizátor) - zajišťuje lepší zpracovatelnost, a při vyšším množství vody chrání před rozmísením složek betonu
5. Navýšení množství záměsové vody korekční vodou

Body 4 a 5 byly do receptury přiřazeny přímo z důvodu, že se jedná o výrobu v letních měsících (opatření proti vysokým teplotám).

### 6.2.1.2 Vývoj počáteční pevnosti

Zkoušky pevností pro letní recepturu byly prováděny 5.8.2019. Denní teplota v ranních hodinách byla 17°C, v odpoledních hodinách 25°C. Teplota betonu v době odběru zkoušek byla 27,9°C. Vzorky byly zhotoveny ve variantě bez zakrytí a se zakrytím víkem (pro zjištění účinnosti zakrytí pro zamezení odparu vody). Výsledky zkoušek jsou shrnuty v grafu na obrázku **6.3 Počáteční pevnost v tlaku - letní receptura**.



Obrázek 6.3: Počáteční pevnost v tlaku - letní receptura

### 6.2.2 Optimalizovaná receptura - zimní měsíce

Pro zimní měsíce byla zkoušena obdobná receptura, pouze s drobnými úpravami z důvodu nižší teploty při výrobě.

Materiál	Množství [kg]	Vlhkost [%]
Cement - CEM I 52,2 R VL bezchromátový	410	-
Přírodní těžené kamenivo - frakce 0/4	745	5,8
Přírodní těžené kamenivo - frakce 4/8	160	2,22
Přírodní těžené kamenivo - frakce 8/16	720	1,26
Urychlovač - Master X-Seed 100	10,25	-
Superplastifikátor - MasterGlenium SKY 623	5,5	-
Obecný mletý vápenec	140	-
Voda čistá	170	-

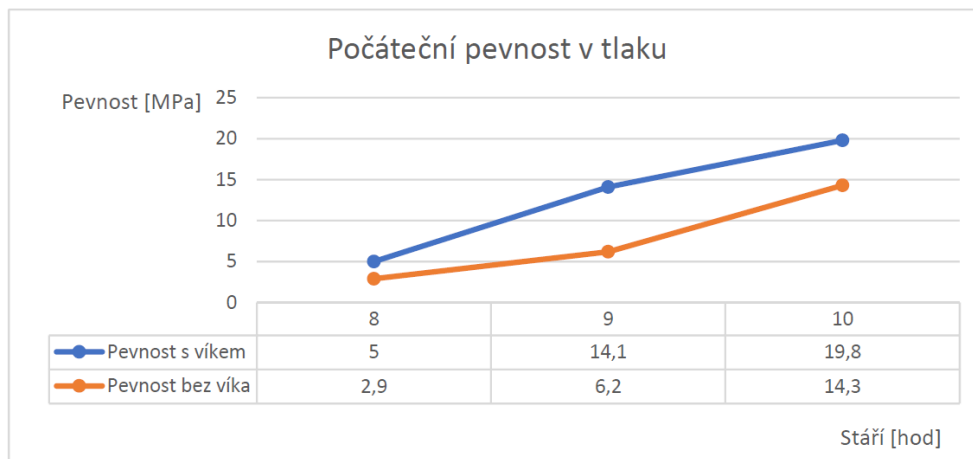
Tabulka 6.3: Receptura pro 1 m<sup>3</sup>- nová receptura - zima

Pro zajištění rychlejšího nárůstu počáteční pevnosti byla receptura upravena (oproti původně používané variantě).

1. Přidání urychlovače tuhnutí Master X-Seed 100, vyšší obsah než v letní variantě 0,45% objemu
2. Zvýšení množství cementu - rychlejší nárůst pevností, vyšší výsledná pevnost
3. Navýšení hrubé frakce kameniva 8/16 - vyšší výsledná pevnost, nižší spotřeba cementu
4. Záměsová voda byla ohřívána na 60°C

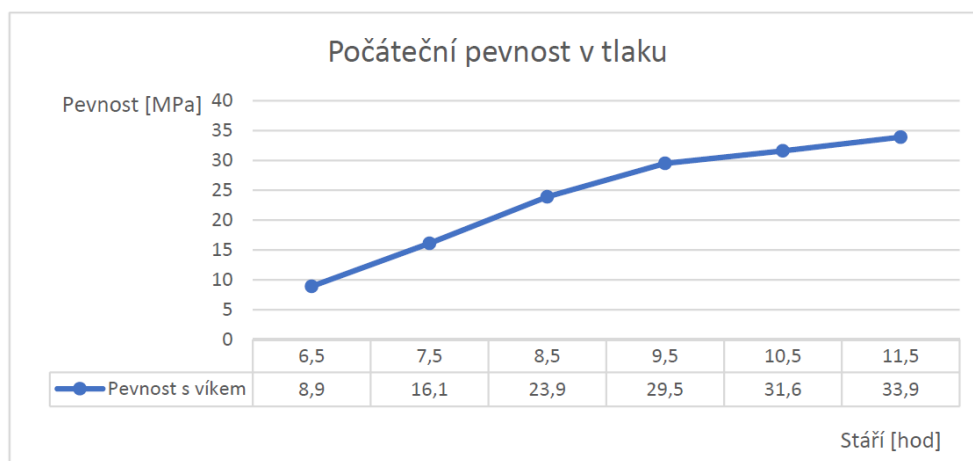
#### 6.2.2.1 Vývoj počáteční pevnosti

Zkoušky pevností pro zimní recepturu byly prováděny 7. 11. 2019. Denní teplota v ranních hodinách byla 16°C, v odpoledních hodinách 19°C. Teplota betonu v době odběru zkoušek byla 22°C. Vzorky byly zhotoveny ve variantě bez zakrytí a se zakrytím víkem (pro zjištění účinnosti zakrytí pro zamezení odparu vody). Výsledky zkoušek jsou shrnuty v grafu na obrázku **6.4 Počáteční pevnost v tlaku - zimní receptura 1**.



Obrázek 6.4: Počáteční pevnost v tlaku - zimní receptura 1

Na základě chování betonu při použití letní směsi byla snaha provádět zkoušky na zkušebních kostkách již po 5 hodinách. Z výsledků zkoušek je zřejmé, že se tento původní záměr nepodařilo zrealizovat ani při ohřívání záměsové vody. Zhotovené vzorky bylo možné zkoušet nejdříve po 8 hodinách, dříve nebylo možné vzorky vyjmout z forem. Při úvaze nad příčinou pomalého nárůstu počáteční pevnosti byla jako příčina určena nízká teplota čerstvého betonu. Zkoušky náběhových pevností zimní směsi byly opakovány 26. 11. 2019. Receptura byla zachována, zvýšení teploty bylo zajištěno ohřevem záměsové vody až na 75°C. Pro zajištění vyšší teploty a ochraně čerstvého betonu před ochlazením byly zkoušky prováděny již pouze na zakrytých vzorcích. Teplota čerstvého betonu byla v době odběru vzorků 26°C.



Obrázek 6.5: Počáteční pevnost v tlaku - zimní receptura 2

### 6.3 Praktická zkouška receptury

Pro praktickou zkoušku byla navržena zkušební stěna, jejíž zdvihnutím po stanovené době mělo být vyzkoušeno chování navržené receptury betonu (viz příloha **D Výkres zkušební stěny**). Výroba zkušební stěny se ukázala být finančně náročná a nedostatečně prokazující pro samotnou výrobu. Zkouška byla nakonec prováděna na reálně vyráběné stěně přímo ve výrobě.



Obrázek 6.6: Zdvihání stěny

Zdvihání zkušební stěny bylo prováděno 26. 8. 2019. Pro zhotovení stěny byla použita letní receptura, na které byl zkoušen nárůst počátečních pevností. Bylo nutné dosáhnout minimální hodnoty pevnosti. Minimální možná hodnota stanovená statikem je 15 MPa, zde bylo z hlediska bezpečnosti požadováno minimálně 20 MPa. Z totožné záměsi pro stěnu byly odebrány vzorky a v hodinových intervalech byly zkoušeny pevnosti na zkušebních kostkách. Vzhledem k rychlému nárůstu pevnosti bylo možné stěnu zvedat již po 4 hodinách. Reálně byla stěna byla zdvihnuta po cca 4,5 hodinách. Pro ověření hodnot pevností získaných ze zkušebních kostek bylo průběžně prováděno měření odrazovým tvrdoměrem přímo na testované stěně. Zdvihání stěny bylo přísně kontrolováno z hlediska bezpečnosti, z důvodu možného vytržení závěsného systému z hmoty prvku. Stěna byla bez jakýchkoliv problémů zdvihnuta a převezena na skládku výrobků.



### 6.4.2 Průběh výroby - nová receptura

Optimalizovaná doba výroby - 1 h 8 min

Fáze tuhnutí prvku (po jaké době je možné stěnový prvek zdvihnout (letní receptura - 7 hodin, zimní receptura - 9,5 hodiny)

#### Letní receptura - 10 h ranní směny

- 6:00 - začátek směny
- 7:08 - začátek tuhnutí 1.
- 14:08 - zdvihání stěny
- 15:16 - začátek tuhnutí 2.

Konec směny 16:00

- 22:16 - možný zdvih stěny (7 h 44 min navíc)

⇒ za jednu směnu vyrobeny 2 série stěn

#### Zimní receptura - 8 h směna, dvousměnný provoz

- 6:00 - začátek směny
- 7:08 - začátek tuhnutí

Konec směny 14:00

- 16:38 - možný zdvih stěny
- 17:46 - začátek tuhnutí

Konec směny 22:00

- 3:06 - možný zdvih stěny (2 h 54 minut navíc)

Aplikací navržených opatření s použitím nové receptury betonu by byla zajištěna možnost výroby dvojnásobného množství prvků během jednoho pracovního dne. Vzhledem ke klimatickým podmínkám v hale by bylo nutné rozdělit způsob organizace výroby na letní a zimní provoz.

# Kapitola 7

## Závěrečné shrnutí navržených opatření

Úkolem této práce byl návrh opatření vedoucích k navýšení výrobní kapacity linky. Získané praktické informace byly teoreticky aplikovány na reálném systému výroby. Časové propočty dokazují, že zavedením navržených opatření je možné výrazně snížit dobu průběhu výroby a tím zvýšit obrátkovost sklopných stolů.

Snahou bylo, aby optimalizace proběhla s co nejnižším nutným finančním zatížením, které by vzniklo celkovou rekonstrukcí, či reorganizací celého výrobního systému. Ve snaze o zachování postupu výroby a stávajícího počtu zaměstnanců byly vymezeny aspekty, které výrobu významně ovlivňují. V současném stavu výroby, který byl zaznamenán snímkem pracovního dne (viz.obrázek **4.5 Časový snímek pracovního dne**), bylo naměřeno, že výroba od odbednění po zmonolitnění trvá na všech stolech 2 hodiny 5 minut (výroba neproběhla na všech stolech). Po aplikaci navržených opatření a s použitím nových receptur betonu byla vymeřena teoretická doba výroby na všech stolech na 1 hodinu 8 minut. Navržená opatření jsou shrnuta v tabulce **7.1 Shrnutí navržených opatření**. Časová úspora pro technická zařízení je uvedena jako absolutní, tudíž jako součet úspor časů na jednotlivých stolech (není zde uvažováno prolínání prací, které probíhají současně). Celková úspora času vycházející z časových harmonogramů výroby může být až 58 minut při porovnání stávajícího stavu výroby a nového optimalizovaného stavu po zavedení organizace výroby.



Skupina	Navržené opatření	Časová úspora
Technická zařízení	- výměna povrchu formopodložky u sklopných stolů za povrch z ocelového plechu	23 minut
	- použití celokovového lemování připevňovaného magnety	
	- použití magnetických doplňků pro připevňování speciálních prvků	35 minut
	- prodloužení systému podvěsné dopravy až k poslednímu sklopnému stolu	
	- zavedení nového způsobu betonáže pomocí rozprostíračů	68 minut
Beton	- rozdělení systému výroby na letní a zimní provoz	-
	- použití upravených receptur betonu - letní; zimní	13 hodin; 10,5 hodin
	- teplota betonu v době ukládání nesmí být nižší než 25°C	-
	- v době od 1.9. do 30. 4. musí být všechny vyráběné prvky přikrývány bez ohledu na počasí	-
	- úprava teploty v hale musí být zajištěna výhradně vnitřní úpravou vzduchu	-
Organizace	- stanovena pevná pracovní doba s předepsaným množstvím pracovníků	-
	- práce prováděny souběžnou metodou výroby na všech pracovištích současně	-
	- krátkodobé navýšování počtu zaměstnanců vždy na pracovišti s nejvyšší pracností	-

Tabulka 7.1: Shrnutí navržených opatření

# Kapitola 8

## Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo vymezení problémových faktorů zpomalujících výrobu prefabrikovaných stěnových prvků a následný návrh opatření vedoucích k zefektivnění výrobního procesu. V práci byly řešeny ovlivňující parametry ve všech částech výroby. Řešeno bylo technické i materiálové zázemí výroby, následně i celková organizace práce na výrobní lince. Zjištěné nedostatky výroby byly teoreticky řešeny a byly navrženy opatření eliminující jejich negativní vliv. Výčet těchto navržených opatření je shrnut v tabulce **7.1 Shrnutí navržených opatření**.

V úvodní kapitole byla nastíněna problematika výroby prefabrikovaných prvků z hlediska zvyšování produkce výroby a nutnosti hledat způsoby jak urychlit tyto procesy. Navazující část práce se zaměřovala na teoretické studium typů prefa výroben, jejich fungování a typů možného průběhu výroby. Následoval podrobný průzkum jednotlivých částí výroby prefabrikovaných stěnových dílců. Popis jednotlivých výrobních postupů byl prováděn především na základě studia odborné literatury. Z velké části byly informace pro popis získány reálným pozorováním výroby. Následně byly vymezeny normové a technické požadavky nejen pro samotné prefabrikované stěnové prvky, ale i pro jejich výrobu. Součástí byl i výčet zkoušek materiálů a jejich četnosti.

Na základě studií průběhu výroby prefabrikovaných stěnových prvků bylo vymezeno množství omezujících faktorů, které mohou výrobu zpomalit. Omezující faktory byly vymezeny nejen v oboru technického zázemí výroby, ale i v dalších neméně důležitých oblastech jako jsou povětrnostní podmínky, volba materiálu a lidský faktor. Ukázalo se, že ve všech těchto odvětvích je možné najít faktory výrazně ovlivňující celkovou dobu výroby. V závěru kapitoly 3 byly pro přehlednost všechny tyto faktory shrnuty v tabulce **3.1 Faktory ovlivňující výrobu prefabrikátů**.

Teoretické řešení této problematiky bylo aplikováno na reálnou výrobu stěnových prvků. V prvotní fázi bylo provedeno snímkování pracovního dne, které

následně sloužilo jako podklad pro řešení dob trvání jednotlivých činností. Vzniklé časové harmonogramy výroby následně sloužily pro simulaci vývoje celkové délky průběhu prací. Byly zde aplikovány optimalizované doby trvání jednotlivých činností, čímž bylo možné pozorovat vývoj celkové délky prací.

Jedním z omezujících aspektů výroby se ukázala nevhodně zvolená receptura používaná pro výrobu. Pro zajištění podstatně rychlejšího nárůstu počáteční pevnosti byla navržena nová receptura. Tato receptura byla následně upravena pro letní a zimní průběh výroby a poté zkoušena na sérii zkušebních kostek. Praktická zkouška navržené receptury byla plánována na navržené vzorové stěně. Její výroba se ukázala neekonomická, nedostatečně prokazatelná a proto se od její výroby ustoupilo. Reálné chování navržených směsí bylo zkoušeno přímo ve výrobě aplikováním na běžně vyráběnou stěnu. V konečné fázi práce byla všechna navržená opatření aplikována na reálně naměřené hodnoty snímku pracovního dne, čímž byla zjištěna teoretická doba výroby s použitím navržených opatření.

Na základě teoretických informací a poznatků získaných pozorováním bylo zjištěno, že aplikací navržených opatření je možné délku výroby snížit až na polovinu. Při správném rozložení pracovních čt a dodržováním navržené směnovosti je možné zvětšit efektivitu výroby v letních měsících až na dvojnásobek, čímž bylo dosaženo stanoveného cíle práce. Veškerá navržená opatření byla shrnuta v tabulce **7.1 Shrnutí navržených opatření** současně se zhodnocením efektivitu navržených opatření.

# Seznam obrázků

1.1 Schéma výroby - Stacionární systém [15]	14
1.2 Schéma výroby - Carrouselový systém [15]	15
1.3 Bednicí plocha z voděodolné překližky, truhlářsky prováděné bočnice	17
1.4 Vytvářecí plocha z ocelového plechu, magnetické bočnice [17]	18
1.5 Plocha připravená pro uložení výztuže	20
1.6 Speciální prvky připravené pro osazení	21
3.1 Koš na beton [17]	41
3.2 Mostový rozprostírač [17]	42
3.3 Rozprostírač betonové směsi [17]	43
3.4 Nádoba na kolové podvozku (tzv. Speedy) [18]	43
3.5 Bateriová forma	44
4.1 Betonárna CEMEX Malešice s.r.o.	53
4.2 Vyvazování armatury stěny	54
4.3 Výrobní hala PREFA PRAHA a.s.	55
4.4 Schéma výroby - současný stav	56
4.5 Časový snímek pracovního dne	58
4.6 Distribuce betonu	59
4.7 Tesařské bočnice hotového prvku	60
5.1 Doby trvání jednotlivých činností - modelace	69
5.2 Doby trvání jednotlivých činností - optimalizace	71
6.1 Zkouška rozlitím - Flow test	76
6.2 Zkouška výparem	77
6.3 Počáteční pevnost v tlaku - letní receptura	78
6.4 Počáteční pevnost v tlaku - zimní receptura 1	80
6.5 Počáteční pevnost v tlaku - zimní receptura 2	80
6.6 Zdvihání stěny	81
6.7 Počáteční pevnost v tlaku - zkušební stěna	82

# Seznam tabulek

1.1 Četnost odběru vzorků, dle ČSN EN 206 + A1 . . . . .	32
2.1 Rozměrové odchylky prefabrikátů [12] . . . . .	34
2.2 Ošetřování proti vysychání [12] . . . . .	37
3.1 Faktory ovlivňující výrobu prefabrikátů . . . . .	50
3.2 Slínkové minerály a jejich vlastnosti [20] . . . . .	51
5.1 Doba dopravy a ukládání betonu - současný stav . . . . .	62
5.2 Doba dopravy a ukládání betonu - nový stav 1 . . . . .	62
5.3 Doba dopravy a ukládání betonu - nový stav 2 . . . . .	63
5.4 Doba dopravy a ukládání betonu - nový stav 3 . . . . .	64
5.5 Dopočet doby trvání - tesařské lemování . . . . .	65
5.6 Propočet doby trvání - celokovové magnetické lemování . . . . .	66
5.7 Porovnání stávajícího a nového způsobu lemování . . . . .	66
5.8 Doba dopravy a ukládání betonu - modelace stůl 1 . . . . .	68
5.9 Doba dopravy a ukládání betonu - modelace stůl 2 . . . . .	68
5.10 Doba dopravy a ukládání betonu - modelace stůl 3 . . . . .	69
6.1 Receptura pro 1m <sup>3</sup> - současný stav . . . . .	76
6.2 Receptura pro 1 m <sup>3</sup> - nová receptura - léto . . . . .	77
6.3 Receptura pro 1 m <sup>3</sup> - nová receptura - zima . . . . .	79
7.1 Shrnutí navržených opatření . . . . .	85

# Literatura

- [1] STEINLE, Alfred, Hubert BACHMANN a Mathias TILLMANN. Precast Concrete Structures [online]. 2. Berlin, Germany: Wilhelm Ernst and Sohn, 2019 [cit. 2019-10-22]. ISBN 3433609047, 9783433609040. Dostupné z: <https://books.google.cz/books>
- [2] ELEMATIC [online]. Finland: ELEMATIC, 2019 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://www.elematic.com/>
- [3] PRILHOFER [online]. Germany: Prilhofer Consulting GmbH & Co., 2019 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://www.prilhofer.com/>
- [4] Olmet Italy s.r.l. [online]. Signoressa di Trevignano - ITALY: Olmet Italy s.r.l., 2019 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://www.olmetitaly.com/>
- [5] 3 top trends in precast concrete technology. ELEMATIC [online]. Finland: ELEMATIC, 2019 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://elematic.blog/2019/03/28/3-top-trends-in-precast-concrete-technology/>
- [5] TRANSPORT BETON: Českomoravský beton a.s. [online]. 2019 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <http://www.transportbeton.cz/navod-na-beton.html>
- [6] ČSN EN 13670 Provádění betonových konstrukcí. EU: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010
- [7] Zásady správného ošetřování betonu. ASB [online]. Praha: ASB, 2015 [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/betonaz/zasady-spravneho-osetrovani-betonu>
- [8] Příručka technologa, Beton - suroviny, výroba, vlastnosti. 2005, 2005(2.).
- [9] HELA, CSc., Doc. Ing. Rudolf. Technologie stavebních dílců. Brno, 2005. Studijní podklady. Vysoké učení technické Brno.
- [10] Nařízení vlády, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky. In: . ČR: Úřad vlády ČR, 2002, ročník 2002, č.163/2002 Sb.

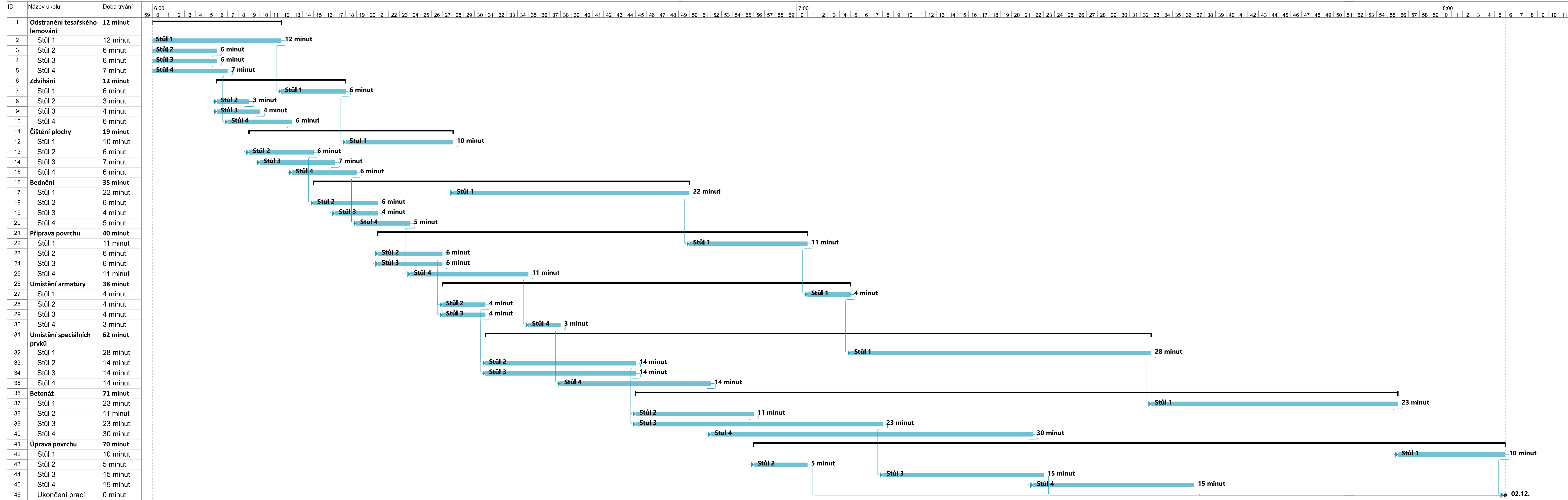
- [11] ČSN EN 14992+A1 Betonové prefabrikáty - Stěnové prvky. EU: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
- [12] ČSN EN 13369 ED.2 Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty. EU: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019
- [13] ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích. EU: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007
- [14] ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. EU: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [15] ČSN P 732404 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplňující informace. EU: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016
- [16] Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: . ČR: Úřad vlády ČR, 2008, ročník 2007, č.361/2007 Sb..
- [17] PREFEA Technologies a.s. [online]. Praha: PREFEA Technologies, 2019 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <http://prefaservis.cz/>
- [18] BIANCHI Technology for precast [online]. Fornovo Di Taro, Itali: BIANCHI, 2019 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.bianchicasseforme.it/>
- [19] PYTLÍK CSc., Prof. Ing. Petr. Technologie betonu. 2. Brno: VUTIUM, 2020. ISBN 8021416475.
- [20] JIRÁSEK, Jakub a Martin VAVRO. Nerostné suroviny a jejich využití [online]. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2019-11-16]. ISBN 978-80-248-1378-3. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/>
- [21] RATEC GmbH [online]. Hockenheim, Německo: RATEC, 2019 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.ratec.org/>

# Přílohy



# Příloha A

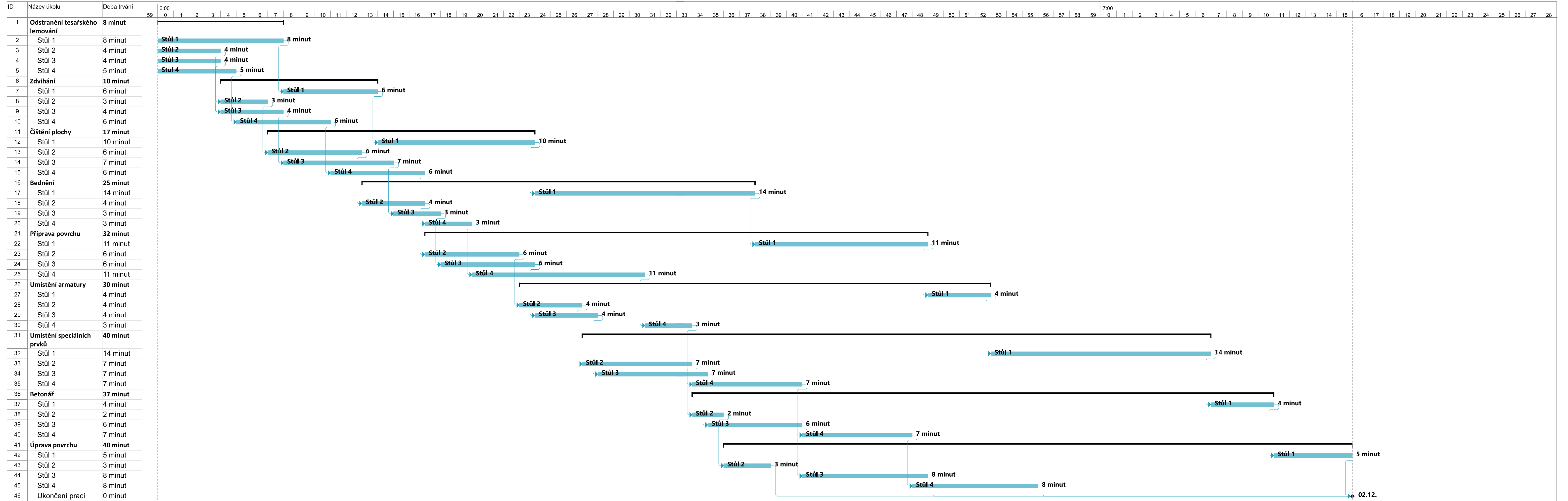
## Harmonogram původního stavu - domodelovaný



Harmonogram původního stavu - domodelovaný

## **Příloha B**

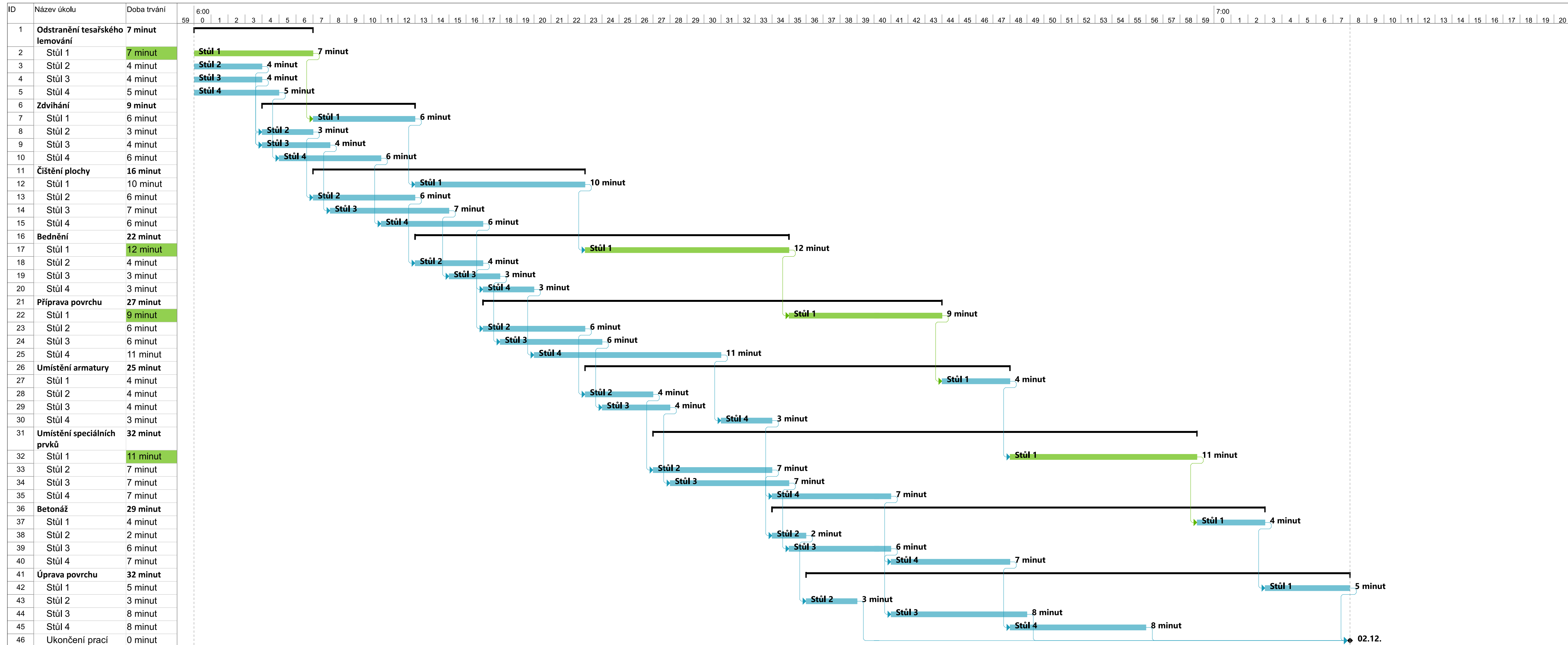
### **Harmonogram optimalizovaného stavu - bez organizace výroby**



Harmonogram optimalizovaného stavu - bez organizace výroby

# **Příloha C**

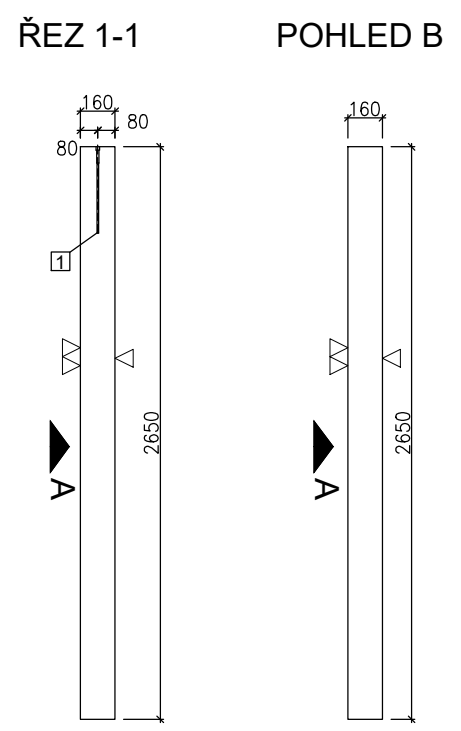
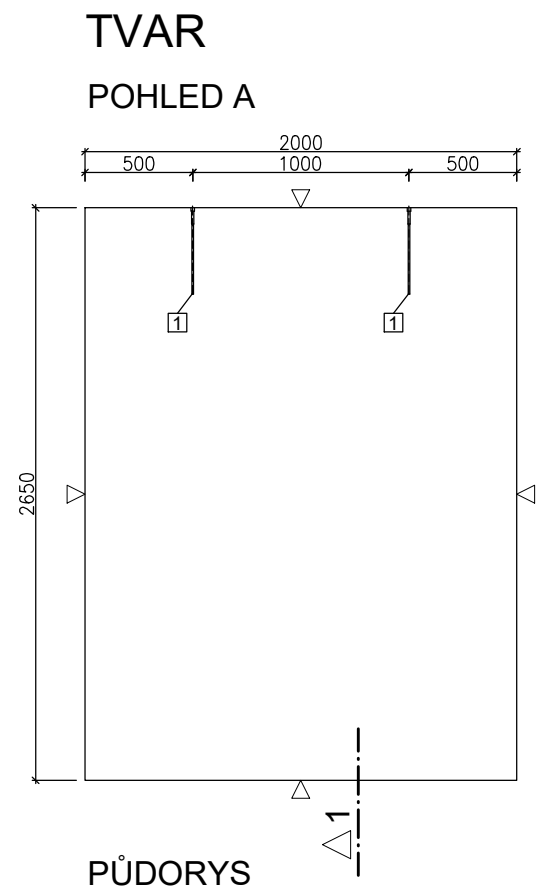
## **Harmonogram optimalizovaného stavu - s organizací výroby**



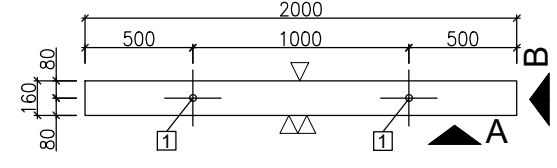
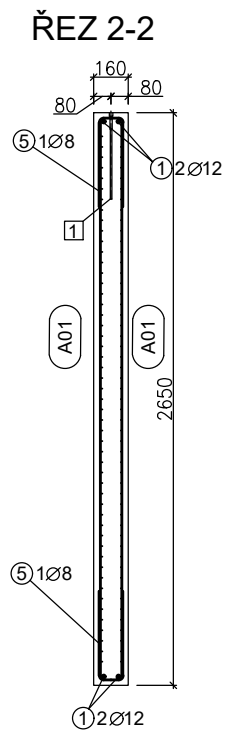
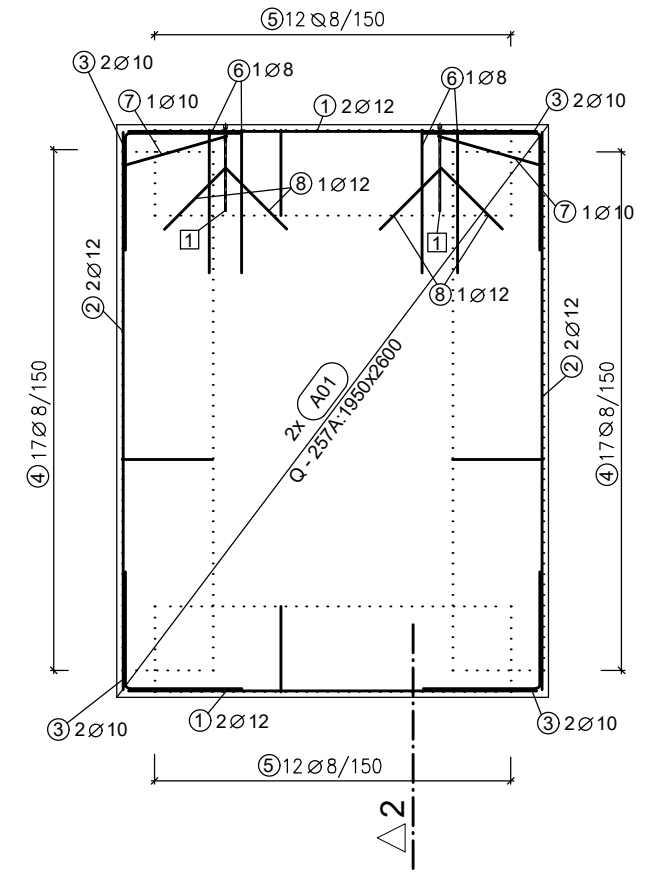
Harmonogram optimalizovaného stavu - s organizací výroby

# Příloha D

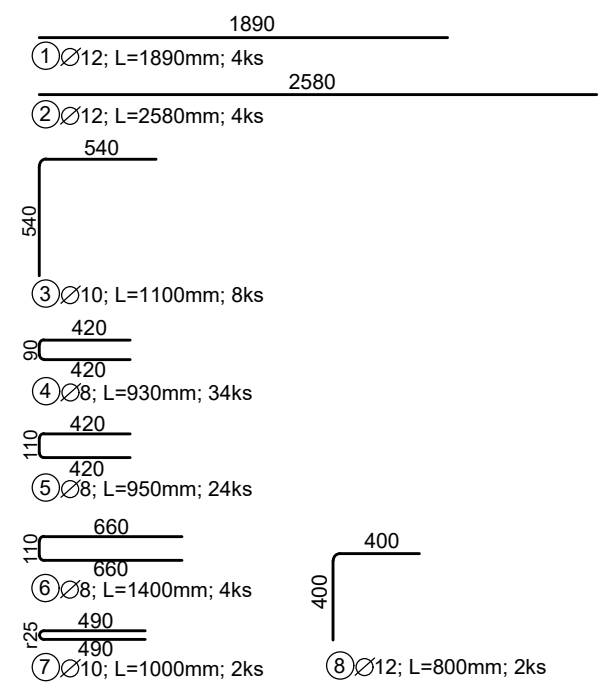
## Výkres zkušební stěny



## VÝZTUŽ POHLED A



## TVARY VLOŽEK



## VÝKAZ VÝZTUŽE

číslo položky	ks	Ø [mm]	L [m]	délka celkem po průměrech [m]		
				8	10	12
1	4	12	1,890			7,56
2	4	12	2,580			10,32
3	8	10	1,100		8,80	
4	34	8	0,930	31,62		
5	24	8	0,950	22,80		
6	4	8	1,400	5,60		
7	2	10	1,000		2,00	
8	2	12	0,800			1,60
délka celkem			[m]	60,02	10,80	19,48
jednotková hmotnost			[kg/m]	0,395	0,617	0,888
hmotnost			[kg]	23,7	6,7	17,3
<b>HMOTNOST CELKEM</b>			<b>[kg]</b>	<b>48</b>		

## VÝKAZ SÍTÍ

označení	typ	ks	délka [m]	šířka [m]	jednotková hmotnost [kg]	celkem [kg]
A01	Q-257A	2	2,6	1,95	4,12	41,78
<b>HMOTNOST CELKEM [kg]</b>					<b>41,8</b>	

## ZABUDOVANÉ DÍLY

1) TRANSPORTNÍ KOTVA 6319 - 2,5 - 400; 2ks

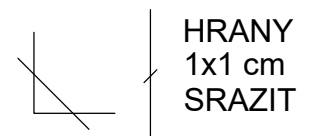
## POZNÁMKY

8) OCHRANA PROTI VYTRŽENÍ - ÚHELNÍKY PŘIVAŘIT V 1/2 DÉLKY KOTVY

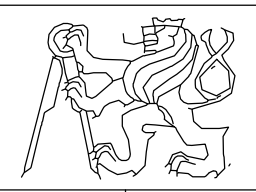
## SYMBOLY POVRCHOVÉ ÚPRAVY

- ▽▽ POVRCH 2x HLAZENÝ
- ▽ POVRCH 1x HLAZENÝ

BETON C 45/55 - XC2  
 OCEL B500 B  
 KRYTÍ VÝZTUŽE 25 mm



OCEL	B500 B	KRYTÍ BETONU (cm)	2,5
BETON	C45/55		
OBJEM DÍLCE (m3)	0,85		
HMOTNOST DÍLCE (t)	2,12		
NÁZEV VÝKRESU: ZKUŠEBNÍ STĚNA 01			
ÚLOHA: DIPLOMOVÁ PRÁCE		VYPRACOVALA BC. LENKA KOSÍKOVÁ	Č. VÝKR. 01



FORMÁT	A3
MĚŘÍTKO	1:35
DATUM	23.10.2019