

BEDNÍCÍ ZAŘÍZENÍ - JEHO NÁVRH, VÝROBA, MONTÁŽ A SAMOTNÝ PROVOZ

P. Bortlík

Ostroj a.s., Opava, Czech Republic

V. Hozza

Ostroj a.s., Opava, Czech Republic

ABSTRAKT: Bednící zařízení pro tunely představuje klíčový prvek při realizaci podzemních staveb, zejména při výstavbě tunelových ostění z monolitického betonu. Jeho návrh, výroba, montáž a následná údržba vyžadují vysokou míru technické preciznosti a koordinace. Návrh bednícího zařízení vychází z geometrie tunelu, technologických požadavků a plánovaného postupu výstavby. Zohledňuje se tvar ostění, délka záběru, tlak čerstvého betonu a požadavky na povrchovou kvalitu. Konstrukce musí umožňovat snadné odformování, přesun a opětovné použití. Důležitým aspektem je i integrace pracovních plošin, bezpečnostních prvků a systémů pro vibrování betonu.

Výroba bednícího zařízení probíhá zpravidla ve specializovaných strojírenských dílnách. Používají se kvalitní ocelové profily a plechy, které jsou následně svařovány do požadovaného tvaru. Povrch bednění je opatřen speciálním nátěrem. Výroba zahrnuje i hydraulické systémy pro rozepření a odformování, transportní mechanismy a případně automatizované prvky pro zrychlení cyklu.

Montáž zařízení probíhá přímo v tunelu, často za omezených prostorových podmínek. Po složení jednotlivých segmentů se provádí kalibrace a zkušební záběr. Důležitá je přesná nivelace a kontrola geometrie. Montážní práce musí být koordinovány s ostatními činnostmi na stavbě, jako je armování, betonáž a doprava materiálu.

V provozní fázi bednícího zařízení umožňuje pravidelnou betonáž jednotlivých záběrů. Obsluha zařízení musí být proškolená a dodržovat bezpečnostní předpisy. Efektivní provoz závisí na správném nastavení cyklu, kvalitě betonu a koordinaci s logistikou stavby.

Pravidelná údržba je nezbytná pro zachování funkčnosti a bezpečnosti zařízení. Zahrnuje čištění povrchů, kontrolu hydrauliky, mazání pohyblivých částí a revizi spojů. Po ukončení projektu se zařízení demontuje, případně repasuje pro další použití.

1. ÚVOD DO BEDNĚNÍ

Bednění jako takové je známé svou konstrukční podstatou již desítky až stovky let. V tomto článku se zaměřuji především na **ocelové, hydraulicky posuvné bednění**, které výrazně snižuje nutnost fyzické práce a umožňuje rychlý a efektivní postup výstavby. Díky hydraulickému ovládní lze provádět přesuny, odbednění i nastavení jednotlivých částí zařízení s minimální námahou obsluhy a s maximální přesností. Tento typ bednění tak přispívá k urychlení celé výstavby, přičemž snižuje čas, po který je zařízení nečinné, a minimalizuje náklady spojené s manipulací a obsluhou.

V současnosti existují také různé systémy **systémového bednění**, které má na podzemních stavbách nezastupitelnou roli. Tato řešení jsou však zpravidla více závislá na ruční práci a vyžadují vyšší fyzické nasazení pracovníků než hydraulicky posuvné konstrukce s dálkovým ovládním. Ocelové posuvné bednění tak představuje moderní a efektivní alternativu tam, kde je kladen důraz na rychlost výstavby, bezpečnost obsluhy a minimalizaci manuální manipulace.

V tomto článku se věnuji celému procesu návrhu bednění a jeho specifikům. Podrobně popisují postup od prvotního koncepčního návrhu, přes výrobu a kontrolní montáž až po zkoušky jednotlivých funkcí před odesláním zařízení na stavbu. Dále se zaměřuji na samotnou montáž bednění na stavbě, která probíhá za účasti supervizora nebo celé montážní skupiny, a na způsob jeho provozu, servisu a případné

demontáže. Samostatnou a velmi zajímavou oblastí je návrh **speciálních bednění** pro nestandardní profily či profily měnící se v průběhu několika desítek metrů. Cílem takového návrhu je vytvořit řešení, které funguje jako stavebnice s minimálními úpravami, a které neovlivňuje chod výstavby více, než je nutné. A pokud se nějaký vliv na průběh stavby projeví, měl by být co nejmenší a snadno řešitelný.

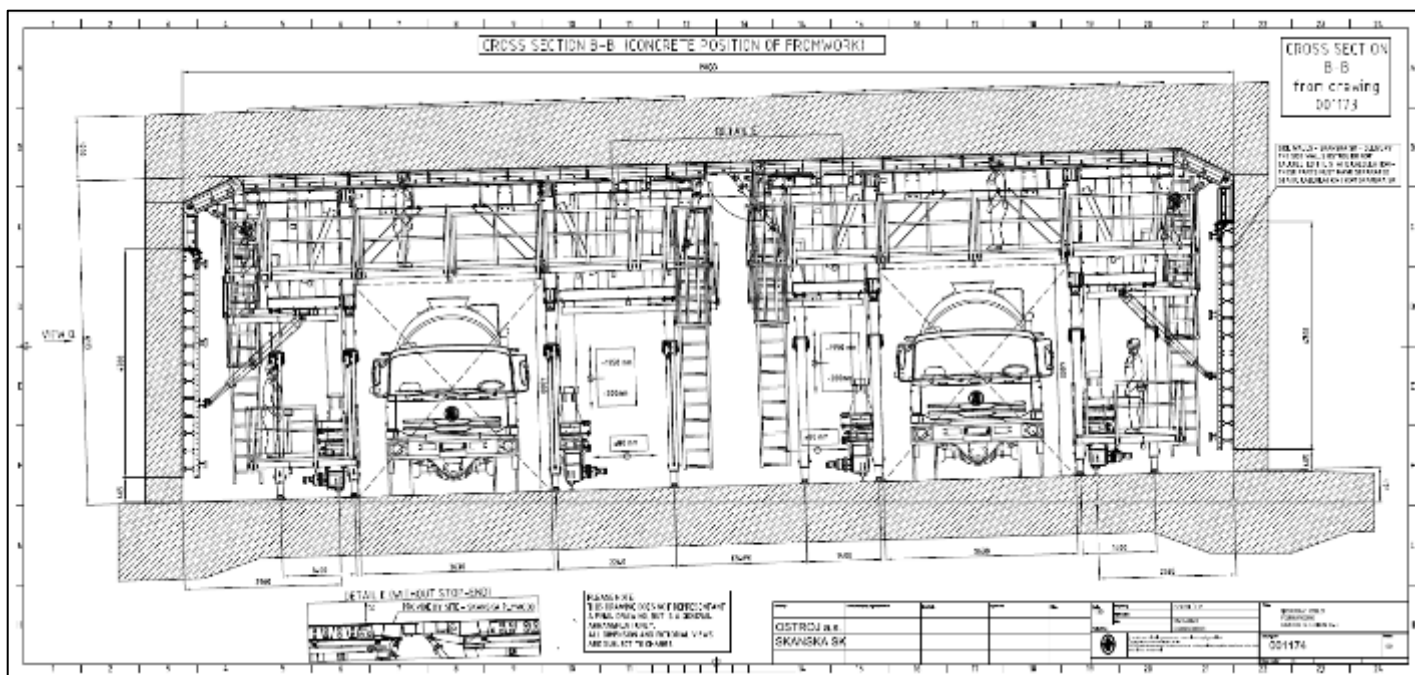
2. NÁVRH BEDNĚNÍ

Samotný návrh bednění vychází ze základního profilu sekundárního ostění tunelu a jeho tvar musí odpovídat tomuto profilu, zpravidla s mírným navýšením nominálního rozměru přibližně o 30 mm. Toto navýšení reflektuje deformace formy, ke kterým dochází při betonování, a které se obvykle pohybují pouze v jednotkách milimetrů. Celé koncepční řešení musí zároveň zohledňovat všechny konkrétní požadavky zákazníka i podmínky stavby – zejména prostorové nároky pro průjezd domíchávačů nebo jiné techniky, přístupové možnosti, bezpečnostní podmínky a provozní návaznosti. Důležitým aspektem koncepce je rovněž tvar a velikost formy ve stavu odbednění, aby bylo zajištěno snadné a bezpečné čištění a aby byly splněny všechny požadavky na průjezdnost i v této poloze.

Součástí návrhu je také pečlivé rozmístění pracovních lávek, které musí umožnit pohodlný a bezpečný přístup k plnicím oknům i samotným plnicím betonu, stejně jako ergonomický přístup k začišťování formy před betonáží. Ergonomické řešení celého systému má zásadní význam, protože ovlivňuje nejen bezpečnost pracovníků, ale také rychlost a plynulost pracovních postupů. Samostatnou částí návrhu je pak rozmístění plniců a plnicích oken, které jsou navrhovány vždy v úzké spolupráci se stavbou a výrobcem betonu tak, aby bylo dosaženo optimálního průběhu betonování, rovnoměrného plnění formy a bezpečného přístupu obsluhy.

Při tvorbě koncepce je nutné brát v úvahu také transportní podmínky, zejména způsob dopravy jednotlivých dílů na stavbu. Velikosti a hmotnosti jednotlivých částí bednění musí být navrženy tak, aby byly vhodné pro běžnou kamionovou přepravu a aby umožňovaly bezpečnou manipulaci pomocí dostupné techniky. Tento požadavek ovlivňuje nejen celkové dělení konstrukce, ale i polohu montážních bodů, závěsných ok a přípojných míst.

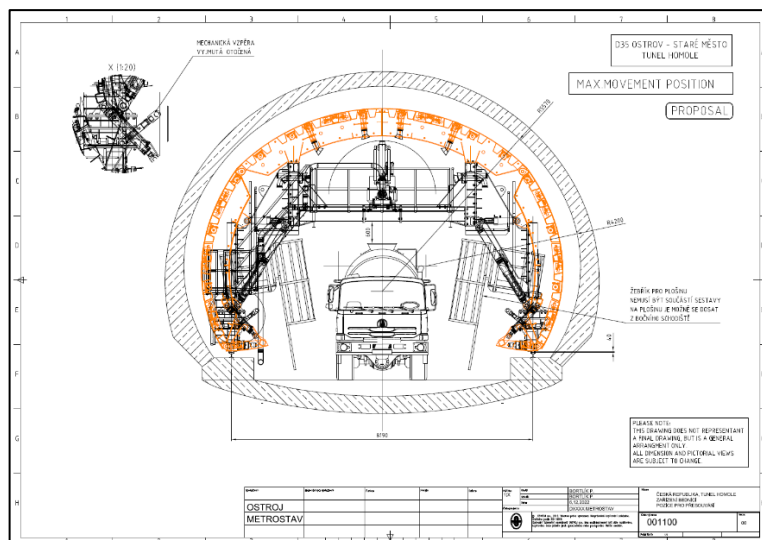
Výsledkem celého koncepčního procesu je návrhový, respektive schvalovací výkres bednění, který zahrnuje zobrazení zařízení v betonovacím stavu i ve stavu odbednění, a který slouží jako základ pro finální schválení zákazníkem a následné zpracování detailní projektové a výrobní dokumentace.



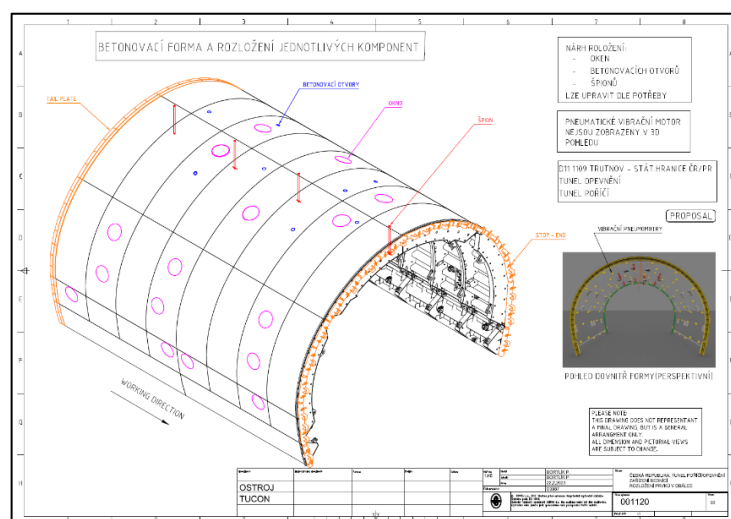
Obrázek 1: Příklad schvalovacího výkresu zařízení

Čas potřebný pro zpracování jednotlivých návrhů bednění závisí především na konkrétním typu konstrukce a tvaru profilu, který je třeba realizovat. Požadavky staveb bývají často velmi specifické, přičemž musí být vždy zachována i ekonomická smysluplnost celého řešení. U běžných profilů, typických zejména pro silniční nebo železniční tunely, bývá návrh rychlejší, protože tvarové řešení i rozmístění prvků jsou obdobné jako u již dříve navržených konstrukcí. Naopak u zcela nových nebo atypických profilů, které nebyly v minulosti nikdy zpracovány, může být návrhová fáze časově náročnější – a to zejména tehdy, jedná-li se o speciální tvar či konstrukční uspořádání, u něhož je nutné navrhnout formu prakticky „od nuly“. Příkladem může být bednění pro linku metra D, kde v jednom případě činí délka segmentu 6 metrů a v jiném 12 metrů; v takové situaci je výhodné zpracovat konstrukci jako celek, který lze následně rozdělit na dvě samostatné části podle potřeby stavby.

Nedílnou součástí návrhu je také řešení výklenků, krčků, rozšíření profilu nebo nouzových zálivů, které mají přímý dopad na celkové uspořádání konstrukce i na rozmístění jednotlivých prvků bednění. Tyto specifické prvky je nutné zohlednit již v rané fázi návrhu, aby zařízení bylo možné bez komplikací nasadit a provozovat přímo na stavbě. V samotném konstrukčním řešení je dále nezbytné zohlednit veškerá zatížení, která mohou na bednění působit. Zatížení čerstvým betonem představuje již samo o sobě největší složku celkového namáhání konstrukce. V případě zařízení umístěných ve venkovním prostoru však mohou působit i další nepříznivá zatížení, jako je vítr, sníh nebo intenzivní déšť, která mohou staticky významně ovlivnit chování celého systému. Návrh bednění proto musí být zpracován s ohledem na všechny tyto možné vlivy, aby byla zajištěna jeho bezpečnost, spolehlivost a dlouhodobá provozní životnost.



Obrázek 2: Příklad schvalovacího výkresu zařízení – příklad odbednění



Obrázek 3: Příklad schvalovacího výkresu zařízení – příklad rozložení oken

3. VÝPOČET BEDNĚNÍ

Výpočet bednění se skládá z několika navazujících fází, jejichž cílem je správně stanovit okrajové podmínky konstrukce a přesně určit všechny vlivy, které na bednění působí. Základní posouzení se zpravidla provádí pro dva hlavní provozní stavy:

1. **Stav betonování,**
2. **Stav přesouvání zařízení.**

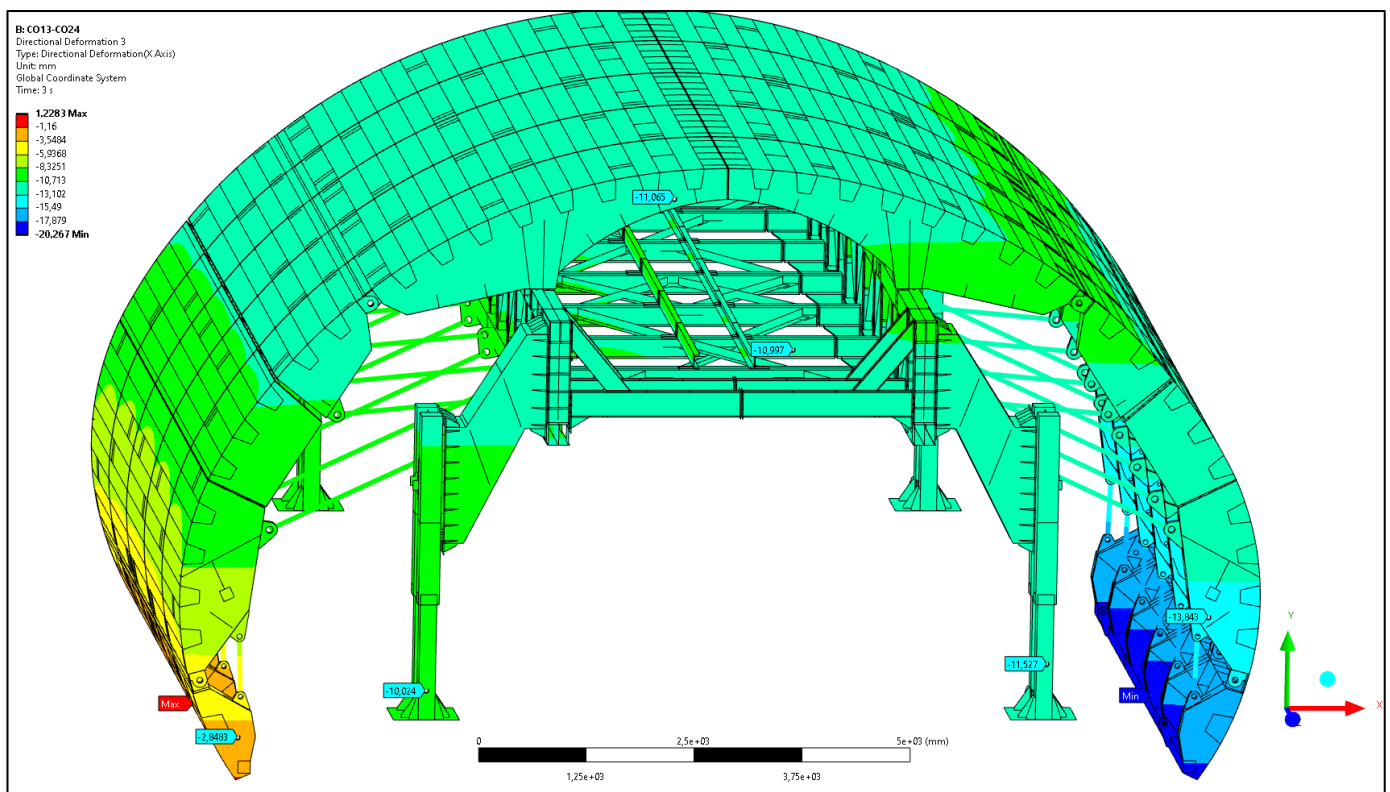
Ani jeden z těchto stavů nepředstavuje pro konstrukci výraznou výhodu – každý z nich je zatěžující jiným způsobem. U bednění určeného pro venkovní prostředí se navíc mohou uplatnit i **zvláštní zatěžovací stavy**, jako například **vliv větru nebo sněhu**, které mohou mít na konstrukci významný negativní dopad a je nutné je zohlednit v celkovém posouzení.

Do výpočtového procesu se dále zahrnuje **technologický výpočet**, jehož úkolem je ověřit funkční schopnosti zařízení. Patří sem:

- **dimenzování hydraulických válců,**
- ověření, zda hydraulika dokáže pohnout jednotlivými díly konstrukce v požadovaných směrech,
- **výpočet rozložení sil** v jednotlivých prvcích,
- **kinematický výpočet rychlostí** všech pohybů,
- stanovení potřebného výkonu **hlavního motoru hydraulického agregátu.**

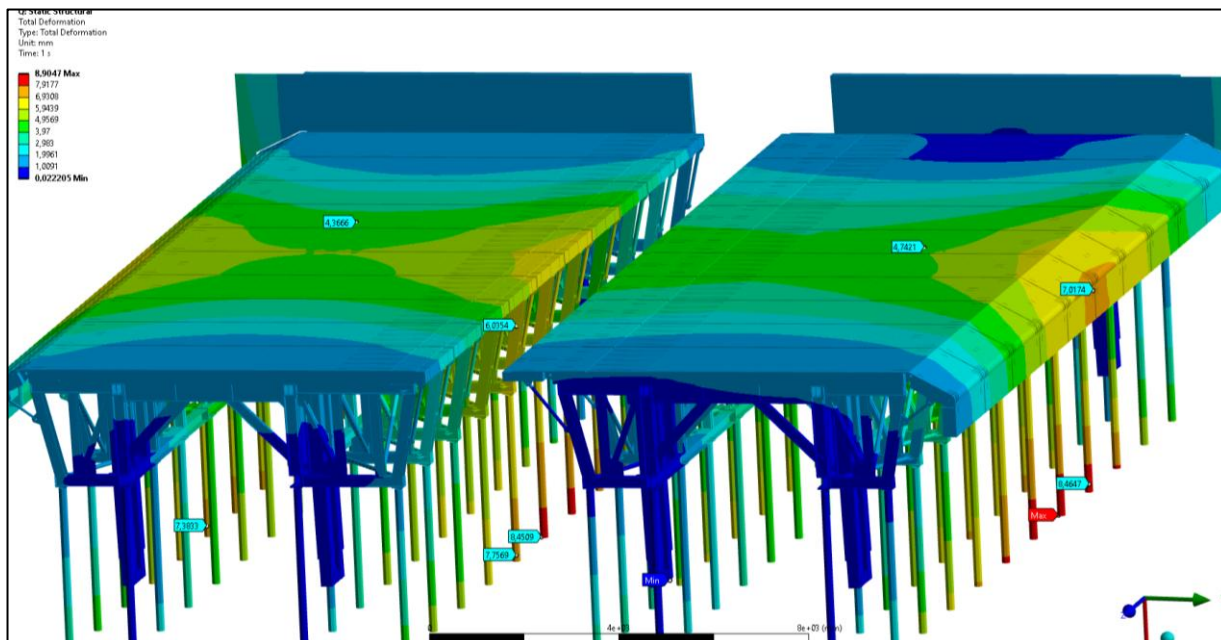
Jak bylo uvedeno výše, klíčovou část tvoří dvojice hlavních výpočtových stavů. Ve **stavu betonování** se hodnotí především:

- deformace a průhyby konstrukce,
- napětí ve všech rozhodujících prvcích,
- posouzení únosnosti obálky a nosného rámu,
- zpravidla podle analýzy **HMH (von Mises)** pro stanovení ekvivalentního napětí.



Obrázek 4: Příklad výpočtu průhybu při betonování – Praha Metro D

Druhý stav je stav přesouvání celé konstrukce, kde se taktéž hodnotí – stav deformace a průhybu.



Obrázek 5: Příklad výpočtu průhybu při přesouvání - Norsko - Oslo

Pro konstrukční výpočty bednění se používají **specializované softwarové nástroje**, které umožňují přesné stanovení napětí, deformací a celkové odezvy konstrukce podle platných či doporučených norem. Tyto programy dokáží simulovat zatěžovací stavy tak, jak reálně působí na konstrukci během betonování, přesunu nebo vlivem vnějších klimatických podmínek.

Pro **detailní analýzy**, zejména u složitých prvků nebo spojů, se využívají pokročilé systémy, jako je **ANSYS**, které umožňují:

- detailní modelování kontaktů a lokálních napětí,
- nelineární výpočty,
- posouzení kritických míst s vysokou koncentrací napětí,
- kombinaci skořepinových a objemových prvků podobně jako v klasickém strojařském výpočtu.

Ve většině případů se obálka bednění skládá z **trapézových plechů**, které tvoří hlavní pracovní plášť. U těchto prvků se hodnotí zejména:

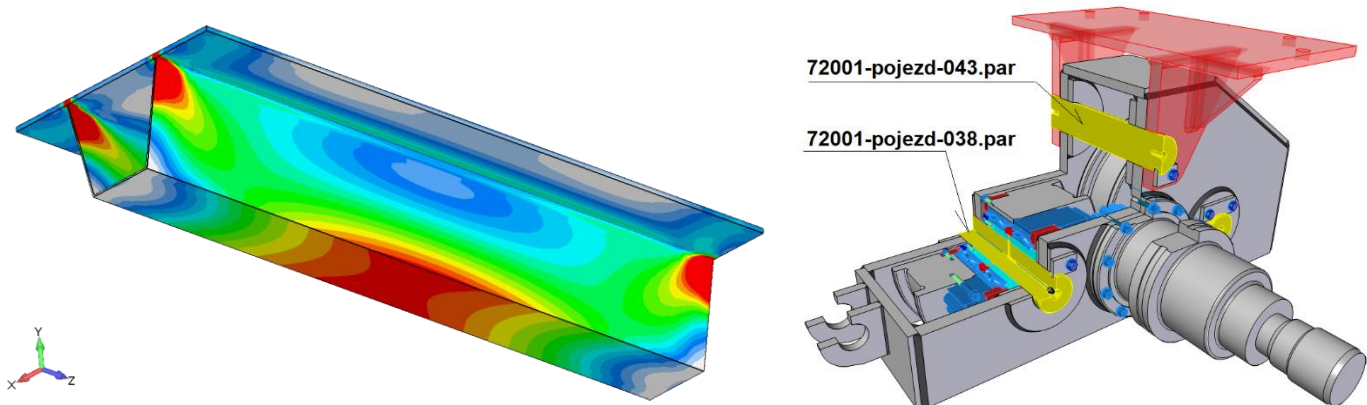
- **napětí v jednotlivých vlnách profilu,**
- celkový průhyb plochy,
- lokální stability plechu,
- únosnost a tuhost v závislosti na volbě profilu a materiálu.

Správná volba typu trapézového plechu a jeho tloušťky je klíčová, protože významně ovlivňuje výslednou tuhost obálky i její odolnost vůči zatížení čerstvým betonem.

Kromě globálních výpočtů konstrukce se provádí také řada **detailních strojírenských výpočtů**, které zahrnují:

- **výpočty čepů,**
- posouzení ložisek,
- návrh ozubení pro pojezdové mechanismy,
- kontrolu šroubových spojů,
- dimenzování svarů,
- výpočet kluzných nebo rotačních vedení,
- posouzení konstrukčních uzlů při přenosu lokálních sil.

Tyto výpočty jsou nezbytné pro ověření bezpečnosti a životnosti mechanických částí zařízení, které během provozu přenášejí značné síly a opakované zatížení.



Obrázek 6: Příklad výpočtu – speciální výpočty

V rámci posouzení může být také hodnocena **stabilita zařízení během přesunu po kolejích** se zřetelem k účinkům bočního větru. Cílem bylo ověřit, že při působení navrhovaného zatížení nedojde k **převrácení celé konstrukce**, a zároveň posoudit **namáhání kolejnice** způsobené vodorovnými silami od větru.

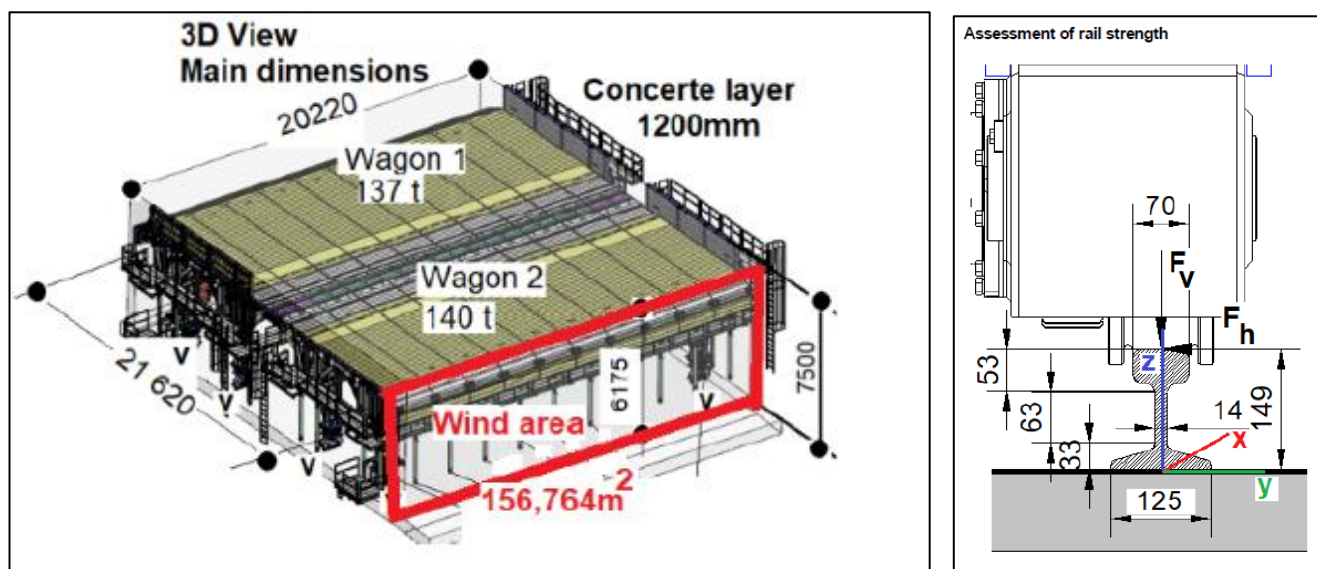
Stabilita konstrukce analyzována porovnáním:

- **překlápěcího momentu** vyvolaného větrem,
- **s momentem vratným**, který je tvořen vlastní tíhou zařízení a polohou těžiště.

Současně byly stanoveny **vnitřní síly, deformace a napětí v kolejnici**, zejména vlivem boční vodorovné síly přenášené přes pojezdová kola nebo vodicí prvky. Hodnocení proběhlo s ohledem na:

- **mezní stav únosnosti (MSÚ)** – kontrola překročení dovolených napětí,
- **mezní stav použitelnosti (MSP)** – kontrola deformací, průhybů a kontaktu s podložím.

Výsledkem posouzení je potvrzení, že konstrukce při zohlednění větrného zatížení vyhovuje jak z hlediska **celkové stability**, tak z hlediska **namáhání kolejnicového systému**.



Obrázek 7: Příklad výpočtu – speciální výpočty

4. VÝROBA BEDNĚNÍ

Samotná výroba zařízení musí probíhat v souladu s předem stanovenými normami a zároveň musí být stanovena správná třída provedení EXC1 až EXC4 podle způsobu použití zařízení a požadavků na jeho bezpečnost a spolehlivost. Třída provedení se určuje dle příslušných výrobních a konstrukčních norem (např. EN 1090).

Výroba jednotlivých dílů se předpokládá z **certifikovaných materiálů** dodaných s atestem podle **EN 10204-3.1**, tj. s potvrzením o vlastnostech materiálu nezávislou autorizovanou osobou. Materiály musí být sledovatelné a řádně označené po celou dobu výroby.

Každý svařovaný díl musí být po dokončení svařování minimálně podroben **vizuální kontrole svarů (VT)**.

U svarů, které jsou namáhány vyššími napětími nebo se nacházejí v kritických uzlech konstrukce, je nezbytné provést **nedestruktivní zkoušení (NDT)** – například kapilární (PT), magnetickou (MT), ultrazvukovou (UT) či radiografickou (RT) kontrolu podle požadované úrovně zkoušení a třídy EXC.

Svařence, zejména **hlavní obálka zařízení**, se vyrábějí v přesných přípravcích, které usnadňují kompletaci a zajišťují dodržení správné geometrie profilu. Přípravky musí být navrženy tak, aby minimalizovaly deformace při svařování a zaručily reprodukovatelnost rozměrů jednotlivých kusů.

U velkých svarů je také využívána **vizuální 3D kontrola** pomocí tabletu nebo skenovacího zařízení, které umožňuje rychle identifikovat případné odchylky od nominálních rozměrů a porovnat skutečný stav s CAD modelem.

Všechny díly, které se dále opracovávají (vrtání, frézování, soustružení apod.), podléhají **rozměrové kontrole**, zejména u připojovacích a dosedacích ploch. Účelem je ověřit, že po montáži budou splněny předepsané rozměry dle výkresové dokumentace a že nedojde k nepřesnostem ovlivňujícím funkci celku.



Obrázek 8: Výroba bednění

5. KONTROLNÍ MONTÁŽ BEDNĚNÍ

Kontrolní montáž bednění představuje klíčový krok v procesu ověřování smontovatelnosti zařízení a stanovení reálné rychlosti montáže jednotlivých celků. Tento postup se zpravidla provádí u nově vyvíjených typů bednění, u nichž vzniká kompletně nová výkresová dokumentace.

Kontrolní montáž probíhá na základě připravené **3D dokumentace**, která tvoří hlavní montážní podklad. Výhodou tohoto přístupu je možnost **okamžité dostupnosti dokumentace odkudkoliv**, což umožňuje efektivní řešení případných problémů ještě v průběhu montáže.

Během montáže se provádí následující ověření:

- funkce hydraulického agregátu,
- funkce všech prvků bednění,
- ověření mezních stavů:
 - maximální vysunutí,
 - sevření obálky,
 - kontrola kolizí mezi jednotlivými částmi zařízení.

Kontroluje se geometrie obálky ve dvou provozních režimech:

- **stav betonování,**
- **stav přesunu (transportní poloha).**

Geometrické parametry se porovnávají s hodnotami ve 3D modelu a montážních výkresech.

Součástí kontrolní montáže je ověření všech provozních funkcí, zejména:

- **pohybu po kolejnicích,**
- **bočních korekcí**, které jsou zásadní pro přesné vedení zařízení v provozu.

O všech testech je vypracován **protokol o kontrole funkcí**, který slouží jako oficiální záznam o shodě montáže se specifikací.

Po dokončení kontrolní montáže a ověření funkčnosti jsou sestavené celky **rozebrány na jednotlivé podcelky**, které jsou dimenzovány tak, aby byly přepravitelné běžným silničním kamionem.

Tento postup zajišťuje **rychlou a bezproblémovou montáž přímo na místě instalace**.



Obrázek 9: Kontrolní montáž zařízení



Obrázek 10: Kontrolní montáž zařízení

6. MONTÁŽ BEDNĚNÍ NA MÍSTĚ NASAZENÍ

Po dokončení kontrolní montáže v závodě následuje **montáž zařízení přímo v místě jeho budoucího provozu**. Časová náročnost montáže závisí na konkrétním typu bednění, avšak při správné organizaci prací obvykle trvá pouze několik dní. Cílem je minimalizovat zatížení manipulační techniky stavby a zajistit plynulý průběh návazných prací.

Montáž probíhá po jednotlivých celcích podle **předem stanoveného harmonogramu**, který je úzce koordinován s **logistikou příjezdu kamionů** s díly bednění. Tato koordinace je zásadní pro:

- minimalizaci skladovacích ploch na stavbě,
- efektivní využití jeřábové a manipulační techniky,
- zajištění montáže bez zbytečných prostojů.

Po smontování základní nosné konstrukce se přechází k **montáži obálky zařízení**, která tvoří funkční pracovní plášť.

V případě potřeby lze některé typy zařízení montovat **mimo prostor tunelu**. Konstrukce umožňuje natočení pohonů až o **90°**, což poskytuje dostatek místa pro průjezd ostatní stavební techniky nebo pro paralelní práce v tunelu. Tato vlastnost výrazně usnadňuje organizaci staveniště a minimalizuje stavební prostoje.

Po úplném dokončení montáže na stavbě probíhá opětovná **kontrola všech funkcí**, obdobně jako při kontrolní montáži v závodě. Ověřuje se zejména:

- činnost hydraulických systémů,
- funkčnost všech pohonů a mechanismů,
- přesnost pohybů (pojezd, boční korekce, sevření, vysouvání),
- kolizní stavy,
- geometrie obálky ve stavu betonování i přesunu.

Z provedené kontroly je vypracován **protokol o uvedení zařízení do provozuschopného stavu**.

Po úspěšném dokončení montáže a funkčních zkoušek je zařízení **oficiálně předáno zákazníkovi**, pokud není ve smlouvě sjednáno jiné předávací schéma (např. postupné předání, zkušební provoz, nebo předání v jiném režimu).

Všechny moderní systémy jsou standardně vybaveny **LCD displejem**, který zobrazuje klíčové provozní údaje, jako jsou:

- provozní teploty,
- hladiny oleje,
- tlaky v jednotlivých hydraulických okruzích,
- stavy napájecí sítě a další.

Zvláštní pozornost je věnována monitoringu **vstupního napětí elektrické sítě**, které na stavbách často kolísá. Kolísavé či nadlimitní napětí může způsobit:

- okamžité poškození motoru hydraulického agregátu,
- přerušení provozu,
- riziko prodloužení výstavby.

Díky integrované ochraně je zařízení schopné preventivně reagovat na nebezpečné hodnoty napětí a zabránit tak poškození komponent.



Obrázek 13: Dálkové ovládání bedně



Obrázek 14: LCD displej s parametry

Moderní systémy bednění umožňují také **dálkový přístup**, a to přímo z kanceláře nebo jiného servisního pracoviště. Díky tomu lze v reálném čase monitorovat stav zařízení, jednotlivé provozní funkce a vyhodnocovat případné poruchové stavy.

Dálkový přístup umožňuje sledovat například:

- aktuální provozní parametry (tlaky, teploty, průtoky, napětí),
- stav jednotlivých subsystémů,
- historii chybových hlášení a provozních událostí,
- záznamy o tom, kdy byla závada detekována a kdy byla odstraněna.

Tato data jsou uchovávána v paměti systému, takže je možné provádět i **zpětnou analýzu** provozu.

Díky dlouhodobému sběru dat je možné vyhodnocovat:

- opakující se závady,
- zhoršující se parametry strojních částí,
- neobvyklé chování hydraulických nebo elektrických systémů.

To výrazně usnadňuje **predikci budoucích problémů**, plánování servisu a minimalizaci odstávek. Uživatel tedy může již předem odhadnout, v jakém stavu zařízení je a jaké činnosti bude nutné v nejbližší době provést.

- rychlá diagnostika závad bez nutnosti fyzické přítomnosti servisního technika,
- zkrácení odstávek zařízení,
- nižší náklady na servis,
- možnost okamžité reakce při nestandardním chování stroje,
- vyšší provozní bezpečnost díky kontinuálnímu dohledu.

Pro bezpečný a správný provoz bednění je nezbytné, aby byla se zařízením dodána úplná **provozní dokumentace**. Tato dokumentace je klíčová nejen pro samotnou obsluhu, ale také pro zajištění souladu zařízení s platnými normami a právními předpisy.

Nejdůležitější součástí dodávané dokumentace je **Prohlášení o shodě**. Tento dokument potvrzuje, že zařízení splňuje všechny příslušné požadavky na bezpečnost a bylo vyrobeno v souladu s harmonizovanými normami. Prohlášení o shodě je právně závazné a je nezbytné pro uvedení stroje do provozu.

8. ZÁVĚR

Vývoj, výroba a následný provoz moderního tunelového bednění představují komplexní proces, který vyžaduje pečlivou koordinaci technických, výrobních i provozních postupů. Od prvotního konstrukčního návrhu, přes kontrolní montáž a ověření všech funkcí až po finální montáž na stavbě musí být každý krok proveden s maximální přesností. Důraz na kvalitu použitých materiálů, dodržení technologických postupů a systematickou kontrolu montáže je nezbytný pro zajištění dlouhodobé spolehlivosti zařízení.

Neméně důležitá je také správně vedená a kompletní provozní dokumentace, která zajišťuje bezpečný provoz a splnění legislativních požadavků. Moderní řešení s dálkovým ovládáním a možností online diagnostiky navíc přinášejí výrazné zvýšení efektivity a bezpečnosti celého procesu. Tato digitální podpora umožňuje nejen okamžitý přehled o stavu stroje, ale také prediktivní údržbu, která minimalizuje odstávky a přispívá k hladkému průběhu výstavby.

Celý systém tak představuje technologicky vyspělý a plně integrovaný nástroj, který stavbám poskytuje spolehlivé, flexibilní a efektivní řešení pro realizaci tunelových konstrukcí. Správné provedení všech kroků — od návrhu až po uvedení do provozu — je klíčem k bezpečnému a úspěšnému využití zařízení v náročných stavebních podmínkách.

Titul, jméno, příjmení autora: Ing. Petr Bortlík, Ph.D.

Pracoviště: OSTROJ a.s., Opava

E-mail adresa: petr.bortlik@email.cz

Titul, jméno, příjmení autora: Ing. Vladimír Hozza

Pracoviště: OSTROJ a.s., Opava

E-mail adresa: vladimir.hozza@ostroj.cz