

# HISTORICKÁ POHRANIČNÍ OPEVNĚNÍ ČSR - REKONSTRUKCE VÝSTAVBY PODZEMNÍCH PROSTOR HISTORICAL BORDER FORTIFICATIONS IN CZECHOSLOVAK REPUBLIC - RECONSTRUCTION OF THE DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACES

JAKUB MIKOLÁŠEK, JIŘÍ BARTÁK

(Pokračování z č. 1/2011)

## 3.2 Definitivní ostění

### 3.2.1 Materiály

Pro zajištění dostatečné odolnosti a trvanlivosti opevňovacích staveb byla vojenskou správou striktně požadována co nejvyšší možná kvalita. Pro každý stavební úsek (linie opevnění zpravidla 5–10 km dlouhá) byl ustanoven vojenský stavební dozor (VSD), složený z příslušníků armády s odpovídajícím technickým vzděláním (příslušníci ženijního a stavebního vojska). VSD předával staveniště a potřebnou dokumentaci stavební firmě, kontroloval vytyčení povrchových objektů v terénu, dbal na dodržování technologické kázně výstavby, potvrzoval splátkové listy a konečné faktury apod. Na základě objednávek stavební firmy také zajišťoval dodávky cementu, ocelových prvků a výztuže, což byly materiály, u nichž nebylo povoleno, aby si je podnikatel zajišťoval z vlastních zdrojů.

Materiály a technologie pro výstavbu opevnění byly podrobovány důkladnému zkoumání a vývoji, na němž se podepsala řada odborných kapacit jak z vojenského, tak i civilního sektoru. Předmětem zkoumání bylo především stanovení optimálního složení betonové směsi, které by umožnilo dosáhnout co nejvyšších pevností a zároveň technologicky zaručilo kvalitní uložení tak velkého množství betonu, které se u povrchových těžkých objektů pohybovalo v rozmezí 1000–5500 m<sup>3</sup>. V důsledku nutné odolnosti povrchových konstrukcí před účinky ostřelování byla věnována velká pozornost způsobu jejich vyztužení.

Na základě výzkumu, který pro vojenskou správu prováděl prof. Ing. Stanislav Bechyně, došlo k vyvinutí portlandského cementu specifické receptury, který byl následně označován jako speciální „A“ cement. Svými vlastnostmi se podobal cementu s vysokou počáteční pevností, zároveň však prodlužoval počátek doby tuhnutí betonové směsi oproti běžně používaným portlandským cementům až na 4 hodiny. To bylo potřebné pro zajištění přilnavosti jednotlivých vrstev betonové směsi povrchových objektů, kdy její rozmístění po celém půdorysu objektu, zhutnění a položení vrstvy vodorovné výztuže vyžadovalo značné množství času. (Při betonáži povrchových objektů bylo požadováno dodržení kontinuální betonáže tak, aby nedošlo ke vzniku pracovní spáry. Objekty tak byly betonovány nepřetržitě cca 5–12 dní.) Dalším kritériem, které bylo vojenskou správou požadováno, byla absolutní objemová stálost cementu. Díky složení „A“ cementu se také podařilo výrazně snížit množství hydratačního tepla, produkovaného při zrání betonu, které bylo díky kubaturám pevnostních staveb značné.

K výrobě speciálního „A“ cementu bylo oprávněno pouze několik cementáren v tehdejší Československu. Např. cement pro stavbu tvrže Dobrošov dodávala cementárna z Králova Dvora u Berouna, další byly v Brně-Maloměřicích, Štramberku na Moravě, v Ladcích a Horném Slniemi na Slovensku. Tyto a některé další cementárny byly kvůli dodávkám speciálního cementu sdruženy do kartelu, v rámci kterého garantovaly pevnou cenu cementu a spolehlivé zajištění dodávek na tehdy největší zakázku svého druhu v celém Československu. Z vyroben byl pytlovaný cement do jednotlivých oblastí expedován vojenskou správou železnicí ve vagoncích po 10–15 t, na samotná

(Continuation from Issue No. 1/2011)

## 3.2 Final lining

### 3.2.1 Materials

The Military Command required the highest possible quality, ensuring that sufficient resistance and durability of the fortification structures was achieved. Military site supervision teams (MSS) consisting of soldiers with corresponding technical qualification (military engineers and construction units) were established for each construction section (fortification lines usually 5-10 km long). The MSSs handed the sites and the required documents over to contractors, checked on the setting out of surface structures in the terrain, saw to the technological discipline on site to be maintained, approve applications for the payment and final invoices etc. In addition, it ensured supplies of cement, steel elements and reinforcement on the basis of orders submitted by construction contractors (contractors were not allowed to provide these materials from their own sources).

Materials and equipment for the construction of the fortification were subjected to thorough examination and development, with the participation of many expert capacities from both military and civil sectors. The object of the examination first of all consisted of the determination of optimum composition of concrete mixture, which would have made the achieving of as high as possible strengths, and, at the same time, technologically ensured quality placement of such a volume of concrete, which varied at heavy surface structures between 1,000-5,500 m<sup>3</sup>. Great attention was paid to the steel reinforcement of the structures because of the necessity of developing surface structures resistant against shelling.

Based on the research conducted for the Military Command by Prof. Ing. Stanislav Bechyně, a specific formula for Portland cement was developed, according to which special cement was produced, which was subsequently denoted as “A” cement. Its properties were similar to the properties of high early strength cement, but the initial set of concrete mixture, in contrast to commonly used Portland cements, was postponed even to 4 hours. It was needed for ensuring the bond between individual layers of concrete mixture for surface structures, where the distribution of concrete mix within the entire ground plan of the structure, its compaction and placement of a layer of horizontal reinforcing bars required a significant amount of time. (Maintaining a continual concrete casting process was required when surface structures were being cast so that construction joints were prevented. For that reason, the concrete casting operations in the case of surface structures lasted for 5 – 12 days without interruption). Another criterion on which the Military Command insisted was the absolute stability of the volume of cement. Owing to the composition of “A” cement they even managed to significantly reduce the amount of hydration heat generated during the course of the concrete curing period, which was significant owing to the volumes of the fortification structures.

Only several cement works in then Czechoslovakia were authorised to produce the special “A” cement. For example, cement for the construction of the Dobrošov fortress was supplied by the cement works from Králův Dvůr near Beroun, other cement works were in

staveniště pak již dopravu zajišťoval stavitel ve své režii nákladními automobily.

Důraz byl též kladen na kamenivo používané do betonu, které si stavitel podle požadavků vojenské správy zajišťoval ve vlastní režii. Jelikož v době výstavby nebylo možné veškeré dodávky tříděného kameniva zajistit ze sítě komerčně fungujících šterkoven a lomů, byla pro výstavbu opevnění zakládána samostatná pracoviště na vhodných místech v blízkosti budovaných linií. Vhodnost kameniva bylo v takovém případě nejdříve nutno odsouhlasit Kloknerovým ústavem v Praze pomocí průkazných zkoušek. Ty ověřovaly, zda lze z předložených surovin při zamýšleném poměru mísení vyrobit beton žádané jakosti.

Co se týče vody pro betonářské práce, její vhodnost musela být také prokazována. Příkladem je nám stavba tvrze Dobrošov, kdy stavitel, firma Kapsa & Müller, v říjnu 1937 odeslal do Kloknerova zkušebního ústavu v Praze vzorky vody z vodovodu, zřízeného pro stavbu tvrze. Stejně tak učinil počátkem roku 1938 se vzorky vody jímané při ražbách v podzemí. Oba zdroje vody byly uznány jako vhodné pro stavební účely.

Složení používané betonové směsi bylo po sérii zkoušek pevně stanoveno. Během betonáže povrchových objektů byla pak odebrána zkušební tělesa (krychle o hraně 20 cm), která byla po 28 dnech podrobena zkoušce pevnosti v tlaku v pražském Kloknerově ústavu nebo Státním výzkumném ústavu silikátovém při ČVŠT v Brně. Pokud nebylo dosaženo pevnosti 45 MPa, byla stavební firmě poměrným způsobem krácena paušální cena za výrobu a uložení betonové směsi. Bylo tak v zájmu podnikatelů, aby předepsaná krychlená pevnost 45 MPa byla dodržena. Jsou známy i případy, kdy dosáhla hodnot přes 70 MPa. Složení betonové směsi pro povrchové objekty bylo následující:

- 400 kg „A“ cement
- 325 l písek (frakce 0–10 mm)
- 250 l šterk (frakce 20–40 mm)
- 500 l šterk (frakce 40–60 mm)
- 150 l záměsová voda (z toho cca 50 l obsaženo v předem kropeném kamenivu)

Zatímco na betonáž povrchových objektů se vztahovala velmi přísná výše uvedená kritéria, pro betonáže ostění podzemních prostor platila určitá zjednodušení, daná především dostatečným krytím těchto konstrukcí zemním nadložím, které se u čs. tvrzí pohybuje v rozmezí 20–60 m. Oproti pevnostním charakteristikám betonu zde proto bylo dbáno především na jeho trvanlivost a izolaci proti podzemní vodě a vlhkosti, jelikož jakékoli dodatečné úpravy ostění byly prakticky neproveditelné.

Prutová výztuž byla používána pouze v určitých částech šachet, veškeré ostění podzemních chodeb a sálů bylo z prostého betonu. Pro tyto konstrukce se požadovala výsledná krychelná pevnost betonu 30 MPa. V řadě případů bylo dovoleno jako kameniva do betonu užívat předrceného, přetříděného a ošetřeného materiálu z výrubu podzemních prostor, ovšem pouze s kladným stanoviskem zkušebního ústavu a výhradně pro betonáže v podzemí. Složení betonové směsi pro betonáž ostění bylo pravděpodobně totožné jako u směsi pro povrchové objekty; pro její ukládání do některých obtížně přístupných partií ostění, především kleneb, bylo zřejmě tolerováno větší množství záměsové vody. U vnější vrstvy ostění byla do betonové směsi používána izolační přísada.

### 3.2.2 Postup výstavby

Součástí tvrzí byly schodišťové a výtahové šachty, v dobových materiálech nazývané „studně“, které sloužily pro spojení podzemních prostor s povrchem. Bylo využíváno výhradně šachet svislých. Při stavbě tvrzí se šachty budoucích objektů přirozeně používaly pro dopravu materiálu z podzemí. Tato funkce byla však limitována betonáží ostění šachty a výstavbou povrchového objektu nad ní, jelikož poté ji již nebylo možné pro dopravu stavebního materiálu využít. Protože na stavbu povrchových objektů vojenská správa velmi naléhala a nebylo s ní možno čekat až na ukončení výstavby podzemních konstrukcí, bylo nutno zřízovat i šachty pracovní. Ty sloužily výhradně ke stavebním účelům a po ukončení výstavby byly pečlivě zavezeny kvalitním

Brno-Maloměřice, Štramberk in Moravia, Ladce and Horné Srnie in Slovakia. These and some other cement works were jointed in a cartel for the purpose of supplying the special cement. In the framework of the cartel the guaranteed fixed price of cement and reliable supplies for the largest order of its kind existing at that time in entire Czechoslovakia. Pre-bagged cement was dispatched from producing plants to individual regions by the Military Command by rail, on wagons carrying 10 – 15 tonnes each; the transport to respective construction sites was provided by the contractor at his own cost, using trucks.

Stress was also placed on aggregates used for the production of concrete, which was provided by the contractor at his own cost according to requirements of the Military Command. Because of the fact that it was not possible to ensure all supplies of graded aggregates from the network of commercially functioning gravel plants and quarries, independent work places were established in suitable locations in the vicinity of the fortification lines being developed. In such cases the suitability of aggregates had to be approved in advance by the Klokner Institute in Prague by means of pre-construction tests. The tests verified whether it was possible to produce concrete at the required quality level using the submitted raw materials and the planned mixing proportion.

As far as water for concrete casting operations is concerned, its suitability had also to be proved. As an example, we can mention the Dobrošov fortress, where, in October 1937, the contractor, Kapsa & Müller, sent to the Klokner Institute samples of water from a pipeline provided on the site for the purpose of the fortress construction. The contractor did the same thing at the beginning of 1938 with samples of water gathered during the excavation in the underground. Both sources were acknowledged to be suitable for construction purposes.

The composition of the concrete mix used was strictly determined after series of tests. Test specimens (cubes with 20 cm edge lengths) were taken during the course of the concreting of surface structures. After 28 days, the specimens were subjected to testing of compressive strength at the Klokner Institute in Prague or the State Silicate Research Institute of the Czech Technical University in Brno. If the strength of 45 MPa had not been achieved, the contractor's flat fee for the production and placement of concrete was adequately cut down. It was therefore in the interest of contractors to maintain the prescribed cube strength of 45 MPa; even the cases where the strength exceeded 70 MPa are known. The composition of concrete mix for surface structures was as follows:

- 400 kg of „A“ cement
- 325 l sand (grain-size fraction 0–10 mm)
- 250 l gravel (grain-size fraction 20–40 mm)
- 500 l gravel (grain-size fraction 40–60 mm)
- 150 l mixing water (50 l of that amount were contained in pre-sprayed aggregates)

Whilst the above-mentioned very strict rules applied to the concreting of surface structures, certain simplifications applied to the concreting of linings of underground spaces, which depended first of all on the sufficient covering of these structures by the ground/overburden, the thickness of which ranged from 20 – 60 m in the case of Czech fortresses. In this case, in contrast with the strength-related characteristics of concrete, the durability of concrete and its waterproofing and damp proofing capacity were put stress on because of the fact that any additional change in the lining was virtually infeasible.

Steel bar reinforcement was used only in certain parts of shafts; all linings of underground galleries and halls were in non-reinforced concrete. The resultant cube strength of concrete of 30 MPa was required for these structures. In many other cases it was permitted that crushed, graded and treated material obtained from the excavation of underground spaces be used as the aggregate, under the condition that the opinion of the testing institute was positive and the material was to be used only for concrete to be cast solely in the underground. The composition of concrete mix for the concreting of linings was probably identical with that used for surface structures. It is likely that a higher proportion of mixing water was tolerated in the cases where concrete was placed to some parts accessible with difficulties, first of all to vaults. Waterproofing admixture was added to the concrete mix to be used for outer layers of linings.



materiálem. Na rozdíl od šachet budoucích povrchových objektů se rozměr šachet pracovních odvíjel pouze od technologií a zařízení dané stavební firmy, zpravidla byl tedy volen co nejmenší.

Betonová směs se do podzemí dopravovala zmíněnými šachtami pomocí plošinových výtahů, následně byla rozvážena ručně japonkami (dvoukolový vozík s velkými koly) nebo vozíky stavební úzkorozchodné drážky.

K výstavbě ostění tvrzí v podzemí bylo přistupováno teprve po dokončení všech chodeb alespoň v částečných výlomech. Výjimku tvoří krátké úseky chodeb, přiléhající k šachtám těch povrchových objektů, jejichž výstavba byla pro vojenskou správu prioritní. Zárodek ostění chodeb v těchto místech byl tak z technologických důvodů betonován v předstihu v souvislosti s betonáží stěn šachet (obr. 1).

Plnohodnotná výstavba ostění probíhala až po vylámání určitého celku podzemních prostor v plných profilech tak, aby spolu práce související s dobíráním výlomů a betonáží navzájem nekolidovaly. Výstavba navazovala na zmíněné zárodky ostění chodeb u šachet povrchových objektů a pokračovala směrem do nitra tvrzí. Další pracoviště pak byla zakládána v místech s velkým rozsahem výlomů, jako byly sály kasáren, technologických zařízení (strojovna, filtrovna) a hlavních muničních skladů.

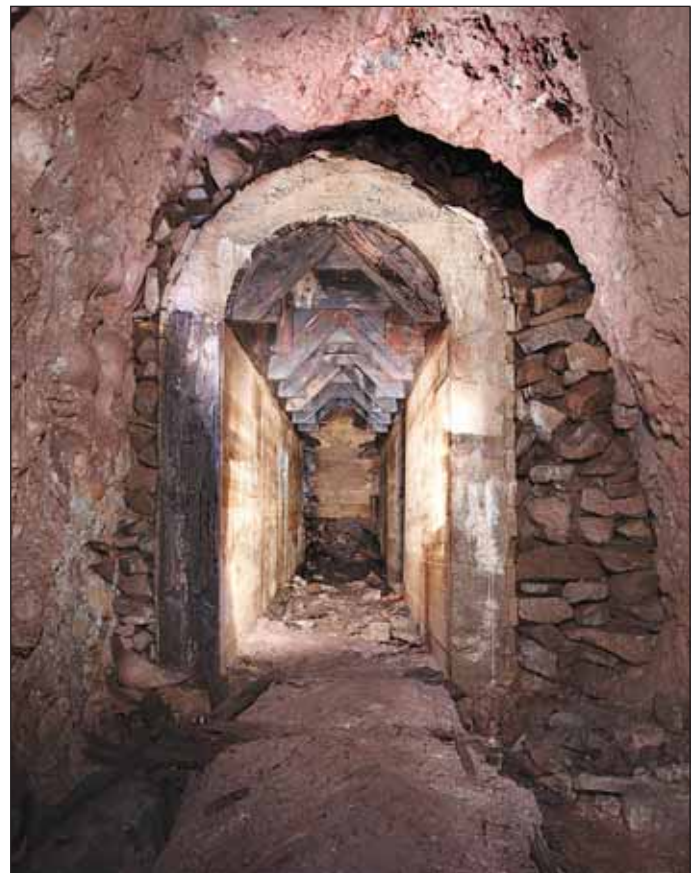
Před svolením k provádění prací na ostění podzemních prostor musel být vojenským stavebním dozorem (VSD) odsouhlasen plný výlom daného profilu. V případě chodeb ražených bez zajištění výdřevou se ověření provádělo za pomoci dřevěného rámu, který musel projít profilem dané štoly. Rozměry rámu byly dány vnější hranou ostění s přírážkou 10 cm na všechny strany. V místech, kde byl provedený výlom z pohledu VSD nedostatečný, muselo dojít k přišramování výlomu do požadovaných rozměrů. V případě chodeb a sálů o velkých průřezových rozměrech s výdřevou zřejmě docházelo k přímému měření provedeného výlomu.

Prvním krokem k výstavbě ostění bylo provedení základů. V rýze, která byla vyhloubena v patě budoucího ostění, byl vybetonován základ z prostého konstrukčního betonu v šířce odpovídající tloušťce budoucího ostění nebo s částečným přesahem (obr. 2, 3). Výška základu se odvíjela od zastížených podmínek a lze ji vysledovat v rozmezí 30–60 cm, přičemž hloubka základu oproti plánované úrovni podlahy je min. 50 cm. Prostor mezi základem a výlomech byl vyplněn štěrkem, do kterého byly uloženy drenážní trubky o průměru 6–8 cm.

Po vyhotovení základů navazovala stavba skruží samotného ostění. Při vnitřním líci budoucího ostění byly vystavěny rámy, sestávající ze svislých dřevěných hranolů a obloukových ramenátů. Stojky byly uloženy na podélných fošnách, zaručujících jejich výškovou stabilitu. V podélném směru byly stojky navzájem rozepřeny do sousedních rámu, zpravidla ve své horní části, pod uložením ramenátů. U vyšších konstrukcí bylo podélné rozepření rámu provedeno ve více úrovních podle potřeby. V příčném směru byly vkládány rozpěrky v horní části stojek, ve spodní části byly stojky fixovány oproti špalíku zatlučenému do dna výlomu. U chodeb menších šířek mohlo být využíváno i rozepření o pražce stavební drážky. Podélná vzdálenost rámu bednění se pohybovala okolo 1 m, průřezy použitého řeziva a hranolů se odvíjely od mohutnosti dané konstrukce.

Na takto připravené rámy bylo podélně přikládáno vnitřní lícové bednění v podobě hoblovaných prken tl. 33 mm. Rub ostění bylo nutno také opatřit bedněním, jelikož přímý kontakt horniny s ostěním nebyl tolerován. Nejenže by se jednalo z tehdejšího pohledu o nevhodné zacházení s drahou betonovou směsí, ale byla by tím přerušena i drenážní funkce rovnaniny v prostoru za ostěním. Navíc se předpokládalo, že přímé působení horninových tlaků na tuhé ostění podzemního díla by mohlo vést k jeho budoucímu porušení.

Pro rubové bednění bylo nejdříve používáno prken nebo plechových tabulí, které v mnoha případech, kvůli značně stísněnému prostoru mezi teoretickým rubem ostění a výlomech, tvořily bednění ztracené. V opačném případě, kdy stavební firma chtěla rubové bednění po betonáži příslušného pasu demontovat a znovu použít, docházelo ke vzniku velkých nadvýlomů, jdoucích na vrub stavitele. Teprve v druhé polovině roku 1938, po zkouškách na stavbě tvrze Stachelberg, bylo



*Obr. 1 Dokončené ostění v zárodku chodby profilu 120/235 u jedné ze šachet tvrze Stachelberg; na rubové straně ostění jsou dobře zřetelné prefabrikované betonové tvárnice, po obou stranách ostění jsou v úrovni základů patrná vyústění drenážních trubek*

*Fig. 1 Lining completed in the starting stub of a 120/235-profile gallery at one of the shafts of the Stachelberg fortress. Prefabricated concrete plates are well visible on the external side of the lining. Mouths of drains can be seen at the foundation level on either side of the lining*

### 3.2.2 Construction process

Staircase and lift shafts, called “wells” in documents of the period, were parts of the fortresses. They made the connection of underground spaces with the surface possible. Vertical shafts were exclusively used. Naturally, the shafts of the future structures were also used for the transport of materials from the underground during the construction of fortresses. However, this function was limited by the concreting of the shaft lining and construction of the surface structure above it, because it was subsequently no more possible to use it for the transport of construction materials. Because the Military Command strongly urged on the construction of surface structures and it could not be postponed until the construction of underground structures was finished, it was even necessary to carry out working shafts. They served solely to construction purposes and were painstakingly backfilled with good quality material after the completion of the construction. As opposed to shafts for the future surface structures, dimensions of the construction-purpose shafts depended on the technologies and equipment used by the particular construction contractor, which means that they were usually designed to be as small as possible.

Concrete mix was transported to the underground via the above-mentioned shafts, by means of platform lifts. Subsequently it was distributed manually in carts (double-wheeled hand trucks with large wheels) or on trucks moving along the narrow-gauge building rail track.

The installation of linings in the underground of fortresses started only when all galleries had been completed at least to the level of partial headings. Short sections of galleries adjacent to shafts of the surface structures, the construction of which was a priority for the Military Command, were exceptions. A starting stub of the lining of galleries in these locations was, for technological reasons, concreted in an advance, in conjunction of the concreting of shaft walls (see Fig. 1).





Obr. 2 Bednění základů ostění v podzemí tvrze Stachelberg  
Fig. 2 Formwork for foundations of the lining in the Stachelberg fortress underground

vojenskou správou schváleno používání ztraceného bednění z prefabrikovaných betonových desek o rozměrech 50x15x5 cm (obr. 1, 4). Ty měly posloužit k úspoře dřevěného bednění, kvalitnějšímu ztuhnutí betonové směsi, rychlejšímu pracovnímu postupu a dostatečné ochraně rubu ostění v případě použití izolačních vrstev (byly proto přednostně doporučovány do zvodnělých partií masivu). Zároveň mělo dojít ke zmenšení objemu kamenné rovnániny, vyplňující prostor mezi výlomem a ostěním, přičemž bylo požadováno zachování alespoň 5 cm mezery od výlomu k líci tvárnice. Tyto prefabrikáty z prostého betonu byly vyráběny přímo na staveništích jednotlivých tvrzí.

Výše uvedené prvky rubového bednění byly stabilizovány oproti výlomu pomocnými dřevěnými prvky a především kamennou rovnáninou, za současného ukládání betonové směsi. Provizorně mohla být stabilizace provedena také oproti bednění vnitřnímu, k používání rádlování však patrně nedocházelo z důvodu zachování kompaktnosti a tím i vodotěsnosti ostění.

Betonáž svislých konstrukcí probíhala v záběrech o délce 4–5 m, přičemž teprve při ukládání směsi docházelo k samotnému kompletování bednění po výšce pasu. Předem provedené kompletní vnitřní bednění by totiž znamenalo obtížný přístup při betonáži spodních vrstev stěny, vnější bednění pak bylo nutno rozpírat vlastní betonovou směsí. Podle stavu provedených prací v podzemí tvrzí Dobrošov a Stachelberg lze usuzovat, že byl kladen důraz na kontinuální betonáž svislých částí ostění, se vznikem pracovní spáry pouze v úrovni základu, při přechodu do klenby a mezi jednotlivými pasy (obr. 5).

Betonáž klenby ostění byla technicky náročnější než výstavba svislých částí. Kvůli ztíženému přístupu bylo nutno betonovou směs ukládat v záběrech cca 1 m dlouhých, v příčném řezu zpravidla ještě



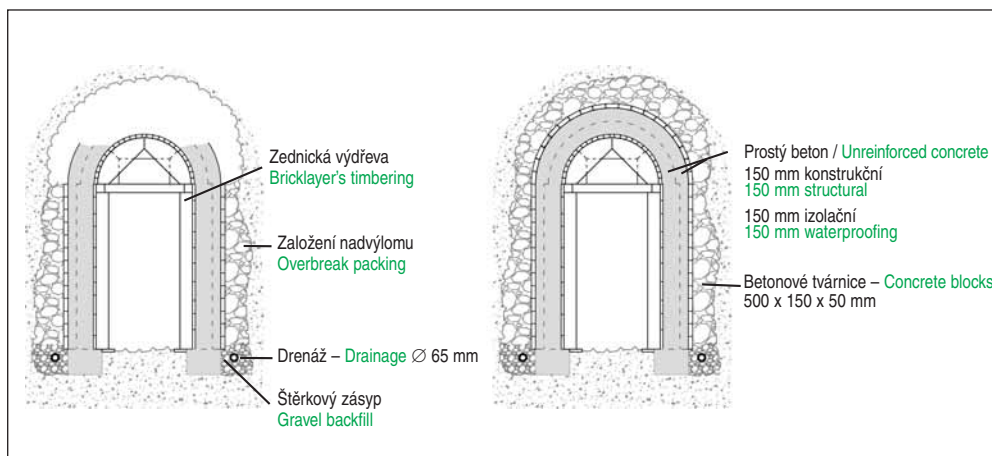
Obr. 3 Vybetonovaný základ ostění v podzemí tvrze Dobrošov  
Fig. 3 Completed concrete foundation of the lining in the Dobrošov fortress underground

Full-fledged construction of linings started only when the excavation of full profiles of a certain complex of underground spaces had been finished so that the operations associated with the completion of excavation and concrete casting operations did not collide with each other. The construction continued starting from the above-mentioned stubs of the linings of galleries developed at the shafts for surface structures and proceeded in the direction of the interior of the fortresses. Other workplaces were established in locations where the volume of excavation was great, such as halls of barracks, equipment rooms (ventilation plant rooms, filtration plant rooms) and the main ammunition stores.

It was necessary before the approval to start the work on the lining of underground spaces was granted to obtain the confirmation of the military site supervision (the MSS) that the particular profile excavation was complete. In the case of galleries driven without timbering support, the checks were carried out using a wooden frame, which had to pass through the profile of the particular gallery. Dimensions of the frame were given by the external edge of the lining with a margin of 10 cm on all sides. In the locations where the completed excavation was according to the MSS insufficient, the excavated opening sides had to be ripped with hand-held picks until the required dimensions were reached. In the case of galleries and rooms with large dimensions of the profiles where timbering had been installed, it is likely that the excavation dimensions were measured directly.

The first step toward the construction of the lining was the execution of foundations. The foundation was concreted into a ditch dug at the foot of the future lining, using non-reinforced structural concrete. Its width corresponded to the thickness of the future lining or partially exceeded it (see Figures 2 and 3). The foundation height depended on the conditions encountered; it can be traced down to be within the range of 30–60 cm. The foundation depth in relation to the planned floor level is 50 cm. The space between the foundation and the excavation was backfilled with gravel with drainage pipes 6–8 cm in diameter embedded in it.

The erection of the formwork for the concreting of the lining vaults followed when the foundations had been completed. Frames consisting of vertical timber posts and arched templates were erected at the inner face of the future lining. The



Obr. 4 Rekonstrukce závěrečných fází výstavby definitivního ostění v chodbě profilu 120/235  
Fig. 4 Reconstruction of final phases of the construction of the lining in a 120/235-profile gallery



Obr. 5 Ostění v různých fázích výstavby v podzemí tvrže Stachelberg  
Fig. 5 Linings in various phases of the construction in the Stachelberg fortress underground

rozdělených do 2 a více výškových úrovní. Na tuto práci nebylo u chodeb z prostorových důvodů možné nasadit více než jednoho pracovníka. Na připravené ramenáty byly podélně kladeny kónické latě malých průřezů pro vybednění profilu kleneb malých poloměrů, až po hoblovaná prkna pro profily o větších rozměrech klenby. Z rubové strany byly bedněny pouze přechodové části klenby, kde se ještě betonová směs neudržela vlastní soudržností, a to přístupem stejným jako u svislých konstrukcí. Ve vyšších částech klenby pak bylo venkovní bednění přikládáno dodatečně jako ochrana čerstvého betonu a případných izolačních úprav před zatlačováním zřizované kamenné rovnaniny (obr. 4).

Poněkud náročný postup betonáže byl dále komplikován používáním rozdílných druhů betonové směsi. Zatímco vnější část ostění byla tvořena prostým betonem s vodotěsnou přísadou (10 cm u stěn, 15 cm u kleneb), vnitřní část byla tvořena konstrukčním betonem obyčejným. Při betonáži tak bylo nutno používat posuvné plechové desky, které v bednění oddělovaly oba druhy betonové směsi. Desky byly s postupující betonáží vysouvány směrem vzhůru, aby mezi oběma vrstvami došlo při dohutnění k jejich kvalitnímu spojení (obr. 6). V horních částech klenby již nebylo plechových desek zapotřebí – betonová směs s izolační přísadou byla ukládána přímo na vrstvu konstrukčního betonu. Na tvrzi Dobrošov lze narazit na tyto desky o rozměrech 200x50 cm z plechu tl. 2 mm. Na horním okraji mají přinýtována dvě oka pro snadnou manipulaci (obr. 7).

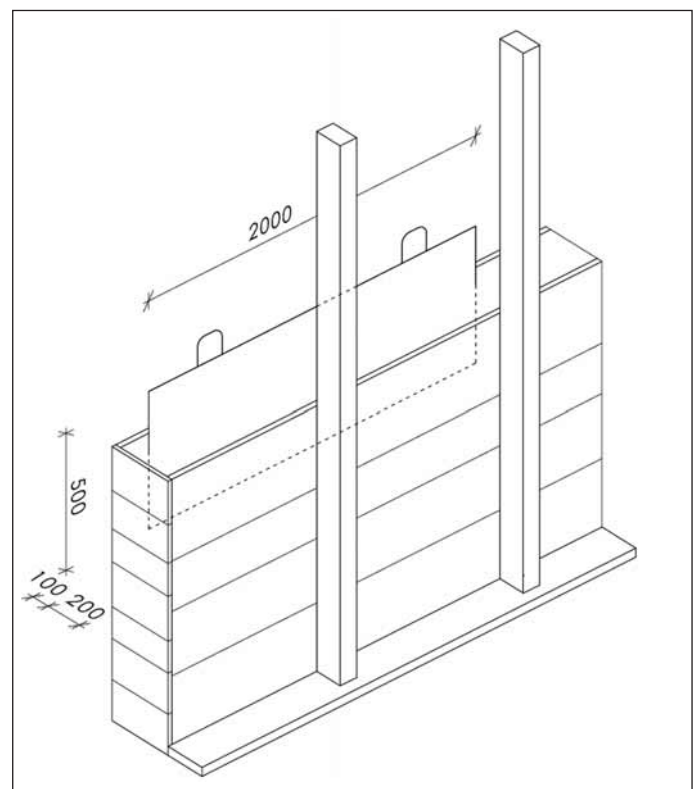
Práce na výstavbě ostění byly částečně rozvinuty v podélném směru. Zatímco betonáž základů mohla značně předcházet, po betonáži svislých stěn bylo prakticky ihned přístupováno k uzavírání klenby. Pro vzájemné provázání sousedních záběrů betonáže byl na čele budovaného pasu vybedněn ozub, do nějž se před betonáží navazujícího úseku umístil pás izolační lepenky pro utěsnění pracovní spáry. Bednění bylo po několika dnech rozebráno a připraveno k opakovanému použití. Použitelnost rámu, ramenátů a prken bednění byla několikanásobná.

Výše uvedené postupy příslušely k provádění ostění stabilních výlomů chodeb. U sálů větších profilů byl systém betonáže obdobný, pouze přizpůsobený většímu rozpětí a objemu ukládané betonové směsi (obr. 8, 9). Zatímco u chodeb, alespoň u aktuálního záběru, bylo zpravidla možné zcela odstranit zajištění výlomu výdřevou, u sálů byla výdřeva ponechávána i po dobu výstavby betonového ostění. Betonáž svislých stěn probíhala za stojkami výdřevy a jednotlivé nosné konstrukce bednění mohly být rozpírány o ponechanou výdřevu. Při betonáži klenby byly z výdřevy podle potřeby postupně odebírány vějířovité vzpěry, až při posledních záběrech ve vrchlíku klenby musela být konstrukce výdřevy odstraněna zcela. Při betonáži klenby mohlo být také plně využíváno pracovní podlahy, zřízené v úrovni hlavních prahů nebo příčných rozpěr stojek výdřevy. Vysokých stojek výdřevy bylo po úpravě pravděpodobně využíváno také pro podepření ramenátů klenby.

posts were placed on longitudinal deals ensuring the stability of their height. In the vertical direction, the posts were braced against neighbouring frames, usually in their upper parts, under the seats of the templates. In the cases of higher structures, the longitudinal bracing of the frames was carried out at more levels, as necessary. In the lateral direction, braces were inserted in the upper parts of the posts. They were fixed in the bottom part against a wood block hammered into the excavation bottom. In the cases of galleries with smaller widths it was even possible to use the bracing against sleepers of the construction railway. The longitudinal spacing of the formwork frames fluctuated about 1 m; the cross sections of the timber depended on the robustness of the particular structure.

Inner surface formwork consisting of 33 mm thick dressed planks was attached longitudinally to the frames prepared in the above-mentioned way. The external surface of the lining had also to be provided with formwork because of the fact that a direct contact between the rock and the lining was not tolerated. The reason was that it would have been uneconomic using of expensive concrete mix and, in addition, the drainage function of the packing in the space behind the lining would have been disrupted. In addition, it was assumed that direct action of rock pressures on the rigid lining of the underground working could lead to its deterioration in the future.

In the beginning, the external formwork was carried out using boards or steel sheet plates, which in many cases became sacrificial because of the significantly constrained space between the theoretical outer contour of the lining and the excavation. Otherwise, if the contractor wanted to dismantle the external formwork after the concreting of the particular block and use it repeatedly, large overbreaks developed to be dealt with at contractor's expense. It was only in the second half of 1938, after testing conducted on the Stachelberg fortress site, that the Military Command approved the use of sacrificial formwork consisting of 50 x 50 x 5 cm prefabricated concrete plates (see Figures 1 and 4). The plates were to ensure savings in timber formwork, higher quality of concrete mix compaction, faster work process and provide sufficient protection for the outer surface of the lining in the cases



Obr. 6 Systém užívání plechových tabulí v bednění pro oddělení betonové směsi izolační a konstrukční

Fig. 6 The system of using steel sheet plates in the formwork to separate the waterproofing concrete mix layer from the structural concrete mix layer





Obr. 7 Bednicí plech v podzemí tvrže Dobrošov  
Fig. 7 The steel sheet used for formwork in the Dobrošov fortress underground

Ty byly v tomto případě kvůli rozpětí až 5,2 m tvořeny 3 vrstvami fošen tl. 5 cm a proti vybočení v podélném směru několikrát rozepřeny.

V určitých partiích podzemí tvrže Dobrošov byly geologické podmínky tak nepříznivé, že stavební firma odmítla provádět ostění zadaným způsobem a navrhla vlastní řešení, podložené výpočty a nákresy. V tlačivých partiích, kde do výlomu vypadávaly zvětralé vrstvy svoru a fylitu s měkkou jílovitou výplní puklin, bylo betonové ostění navrženo v kombinaci s cihelnými vyzdívkami (obr. 10, 11). Ty umožňovaly rychlejší výstavbu a prakticky ihned po uzavření klenby bylo zdivo schopno vzdorovat, na rozdíl od betonu, tlakům nadloží. Na cihelné klenbě pak byla provedena izolace z asfaltových pásů nebo plechů. Ty byly překryty betonovými prefabrikáty, používanými při výstavbě betonového ostění, zatřenými cementovou maltou. V sálech kasáren tvrže Dobrošov můžeme dodnes nalézt cihelné klenby, plnicí bez zjevných problémů účel, pro něž byly navrženy.

Tvrz Dobrošov zasáhlo zastavení prací na konci září roku 1938 v nejvyšším tempu výstavby ostění (obr. 12, 13, 14, 15). Podle vyúčtovacích protokolů bylo v podzemí tvrže připraveno 3300 m<sup>2</sup> bednění, které pak bylo nepoužité demontováno v lednu 1939. Při betonážích v podzemí bylo spotřebováno celkem 2360 t cementu, což odpovídá kubatuře ostění zhruba 6000 m<sup>3</sup>. Přesto dokončený objem betonáže v podzemí představuje necelou polovinu plánovaného rozsahu.



Obr. 8 Pozůstatky bednění sálu profilu 400/400 v podzemí tvrže Stachelberg; v popředí fragment stojky z výdřevy, zajišťující výlom provedený v sousedním pasu  
Fig. 8 Remains of formwork for a 400/400-profile hall in the Stachelberg fortress underground. A fragment of a timbering post supporting the excavation completed in the neighbouring block can be seen in the foreground

where waterproofing layers were applied (they were therefore preferably recommended for water-bearing portions of rock mass). At the same time, the volume of stone packing filling the space between the excavation and the lining was expected to be reduced (a gap at least 5 cm wide between the excavation and the outer surface of the plate was to be maintained). These non-reinforced concrete pre-cast elements were produced directly on construction sites of individual fortresses.

The above-mentioned elements of external formwork were stabilised against the excavation by timber elements and, first of all, by stone packing, simultaneously with the casting of concrete into the formwork. Temporarily, the stabilisation could be ensured by bracing it against the inner formwork. The formwork surfaces probably were not tied together with wire because of the reason of maintaining the compactness, thus also waterproofing capacity of the lining.

The concreting of vertical structures was divided into blocks 4-5 m long. The formwork was being completed along the height of the block only during the placement of concrete. The reason was that the pre-assembled complete inner formwork would have meant that the access during the concreting of the lower layers of the lining would have been difficult; then the outer formwork had to be braced against the concrete mix itself. It is possible to assume according to the state of the completed work in the underground of the Dobrošov and Stachelberg fortresses that stress was placed on continual concreting of vertical parts of linings, with construction joints originating only at the foundation level, at the transition to the vault and between individual casting blocks (see Fig. 5).

The concreting of the lining vault was technically more demanding than the concreting of vertical parts. It was necessary because of the more difficult access to pour concrete mix in about 1 m long advances, which were usually subdivided into 2 or more lifts. For spatial reasons this work in galleries could not be carried out by more than one worker. Small-dimension conical laths were placed longitudinally on the prepared templates serving to forming of profiles of vaults with small radii. Dressed boards were used for the formwork for larger-diameter vault profiles. On the outer side, the formwork was installed only at transition sections of vaults where concrete mix could not hold on through its own cohesion, with the approach identical with that applied to vertical structures. In higher parts of vaults the outer formwork was applied additionally as the protection of green concrete and contingent waterproofing layers against pushing of the subsequently placed stone packing into them (see Fig. 4).

This rather demanding concrete casting procedure was further complicated by the use of different kinds of concrete mixture. Whilst the outer portion of the lining consisted of non-reinforced concrete containing a waterproofing admixture (a 10 cm and 15 cm thick layer at walls and vaults respectively), the inner portion consisted of common structural concrete. It was therefore necessary to use sliding steel sheet plates separating the two types of concrete mix. The plates were shifted upwards during the concrete casting operation so that the connection of the two layers could be achieved during the final compaction (see Fig. 6). The steel sheet plates were no more necessary in the upper parts of the vaults – concrete mix containing the waterproofing admixture was poured directly on the structural concrete layer. These plates with diameters of 200 x 50 cm, 2 mm thick, can be found in the Dobrošov fortress. They have two lifting eyes riveted on them for easier handling (see Fig. 7).

The work on the installation of the lining was partially streamlined in longitudinal direction. Whilst the concreting of foundations could be in a significant advance, the vault was closed virtually immediately after the concreting of vertical walls. A sheer key was formed at the front end of the block being cast for the purpose of binding it with the next casting block. A strip of insulating cardboard was inserted into the sheer key before concreting of the next block designed to seal the joint. After several days the formwork was dismantled and was prepared for the repeated application. The formwork frames, templates and boards were reusable.



Obr. 9 Zednická výdřeva (skruže) v sále v podzemí tvrže Stachelberg  
Fig. 9 Bricklayers' timbering (centering) in a hall in the Stachelberg fortress underground

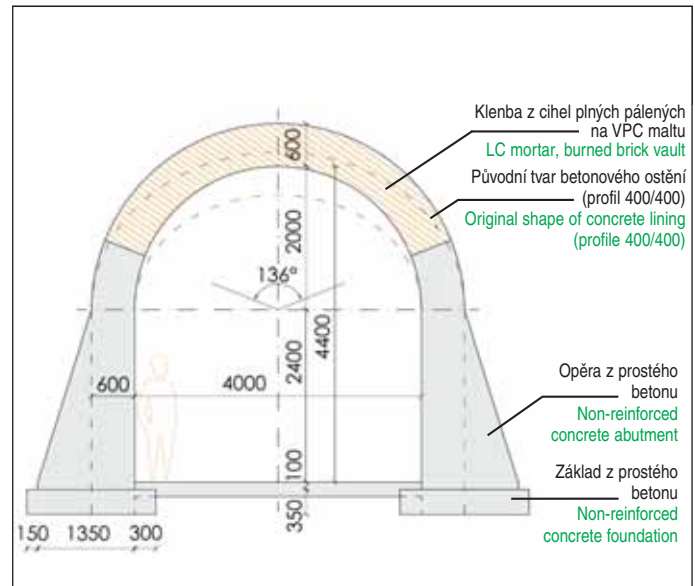
### 3.3 Izolace a odvodnění

Nepropustnost ostění měla být v příznivých podmínkách zaručena pouze velmi kvalitním ztuhněním samotné betonové směsi, přičemž do jejích vnějších vrstev, jak již bylo zmíněno, byly používány různé izolační přísady, např. Vista – Densyl K (tvrz Bouda, Hanička). Jelikož geologické a hydrogeologické poměry v podloží byly odhalovány víceméně až při samotné ražbě podzemních prostor, bylo vypracováno několik vzorových opatření proti zvýšeným vodním přítokům do podzemního díla.

- Při nesoudržném nadloží mělo dojít ke změně profilu klenby z eliptického průřezu na průřez kružnicový, přičemž výška svislých částí ostění zůstala zachována. Vrchlík klenby měl být dále upraven nadbetonováním „hřebenu“ o výšce max. 15 cm. Došlo tak sice k určitému zvětšení výlomu, zároveň ale bylo od těchto tvarových změn očekáváno, díky zvětšení spádu, rychlejší odvedení vody z klenby do drenáží podél stěn.
- V místech slabých vodních přítoků měla být použita tvarová varianta klenby z předchozího případu, přičemž rubová část ostění klenby se překrývala v té době dostupnými asfaltovými pásy. Rozsah této úpravy byl přibližně vymezen odklonem 30° od vertikály vedené patou klenby.
- V místech silných vodních přítoků měla být použita kombinace obou předchozích opatření, kdy se část lepenkové izolace ve vrchlíku klenby nahradila železnými plechy o tl. 5–7 mm



Obr. 11 Kombinované ostění z prostého betonu a pálených cihel v sále kasáren tvrže Dobrošov; nad klenbou jsou patrné izolační asfaltové pásy  
Fig. 11 Combined linings formed by non-reinforced concrete and burned brick in a hall of the Dobrošov fortress barracks. Waterproofing asphalt cardboard sheet can be seen above the vault



Obr. 10 Schéma úpravy ostění v sálech kasáren tvrže Dobrošov, korespondující s obr. 11

Fig. 10 A diagram of the design of the lining in halls of the Stachelberg fortress barracks, corresponding to Fig. 11

The above-mentioned procedures related to the execution of stable excavations of galleries. As far as larger-profile rooms are concerned, the concrete casting system was similar, it was only accommodated to larger spans and larger volume of concrete mix being cast (see Figures 8 and 9). Whilst it was usually possible for galleries, at least for the particular block being cast, to stabilise the excavation by timbering, the timbering was not removed during the construction of the concrete lining in the case of halls. Vertical walls were cast behind the timbering posts and individual load-bearing structures of the formwork could be braced against the timbering left in place. Fans of timbering braces were step-by-step removed during the concreting of the vault and the



Obr. 12 Nedokončené ostění chodby profilu 150/275 v podzemí tvrže Dobrošov; krátké úseky klenby pravděpodobně dočasně stabilizovaly výrub, mezilehlé části klenby měly být betonovány dodatečně

Fig. 12 Uncompleted lining of a 150/275-profile gallery in the Dobrošov fortress underground. Short sections of the vault probably temporarily stabilised the excavation. The intermediate parts of the vault lining were to be cast subsequently





Obr. 13 Odbočka chodeb profilu 150/275 v podzemí tvrze Dobrošov s definitivním ostěním; součást prohlídkového okruhu  
Fig. 13 A branch of 150/275-profile galleries in the Dobrošov fortress underground with the final lining installed - part of the guided tour

(obr. 16, 17). Plechy měly být v příčném směru zhruba 100 cm dlouhé a v podélném směru navzájem překryté na „zámek“. Aby byla zaručena jejich trvanlivost, musely být ošetřeny několikavrstvými oboustrannými asfaltovými nátěry.

Vyjmenovaná opatření byla vzorově vypracována pro profily sálů 400/400 a 520/400. V případě menších profilů, především spojovacích chodeb, nebyla geometrie klenby měněna, jelikož její průřez byl navrhován jako kružnicový vždy. Dodatečná izolace lepenkovými pásy a železnými plechy, stejně jako nadbetonování „hřebenu“ bylo však využíváno i v těchto případech (obr. 18, 19).

V praxi, při samotném provádění ostění podzemních prostor, docházelo většinou pouze k drobným odchylkám od výše navrhovaných řešení, podložených zárukami a zkušenostmi stavebních firem.

K samotnému odvedení podzemních vod z okolí díla sloužil systém podélných drenáží, uložených vně základů ostění do šterkového lože. Pečlivé vyplnění nadvýlomu kamennou rovnáninou zaručovalo průsak vodních přítoků touto filtrační a výplňovou vrstvou až k drenážím u základů ostění (obr. 1). Drenážní potrubí bylo tvořeno keramickými trubkami o vnitřním průměru 6–8 cm a délce cca 30 cm, kladenými nasraz. Po určitých vzdálenostech, zpravidla po 20 m, bylo drenážní potrubí převedeno otvory v základech do vnitřního prostoru pod podlahou chodeb a sálů, kde se napojovalo na centrální kanalizační potrubí většího průměru. Po betonáži podlah byl přístup ke kanalizaci zajištěn pomocí revizních šachet. Kanalizační a drenážní potrubí sledovalo mírný podélný sklon veškerých podzemních prostor, čímž byla



Obr. 14 Sál profilu 400/440 v podzemí tvrze Dobrošov s definitivním ostěním; podlaha nebyla vybetonována, v „kapsách“ ostění měly být fixovány cihelné příčky  
Fig. 14 A 400/440-profile hall in the Dobrošov fortress underground with the final lining installed. The concrete floor concreting was not carried out. Brick partitions were to be fixed in mortises in the lining

remaining timbering structure was removed when the last pours at the vault crown were being carried out. In addition, it was possible to fully use working platforms which were installed at the level of plate timber or lateral braces between timbering posts. In addition, after some trimming, high timbering posts were probably used for supporting the vault templates. In this case, because of the span reaching up to 5.2 m, the templates consisted of 3 layers of 5 cm thick boards and were several times longitudinally braced to prevent buckling.

Geological conditions in certain areas of the Dobrošov fortress were so unfavourable that the contractor refused to install the lining in the required way and proposed their own solution and supported it by calculations and drawings. In squeezing ground areas, where weathered layers of mica schist and phyllite with soft clayey filling of joints fell into the excavated opening, the concrete lining was proposed to be combined with brick linings (see Figures 10 and 11). These linings made faster construction possible and, virtually immediately after the closing of the vault, the lining was capable of resisting overburden pressures, as opposed to concrete. Waterproofing consisting of asphalt cardboard sheets or steel sheets was subsequently placed on the brick vault. The waterproofing was covered with pre-cast plates used in the construction of the concrete lining. Cement mortar was spread on the plates. In halls of the Barošov fortress barracks, we can find till now brick vaults fulfilling without obvious problems the purpose for which they had been proposed.

The Dobrošov fortress was hit by the suspension of works at the end of September 1938, at the moment of the highest rates of the lining construction (see Figures 12, 13, 14 and 15). According to invoices, 3,300 m<sup>2</sup> of formwork were prepared in the fortress underground. It was dismantled in January 1939 without being used. The total of 2,360 tonnes of cement were consumed during the concreting in the underground. This amount roughly corresponds to the volume of the lining of 6,000 m<sup>3</sup>. On the other hand, the completed concrete casting volume represents less than a half of the planned extent.

### 3.3 Waterproofing and drainage

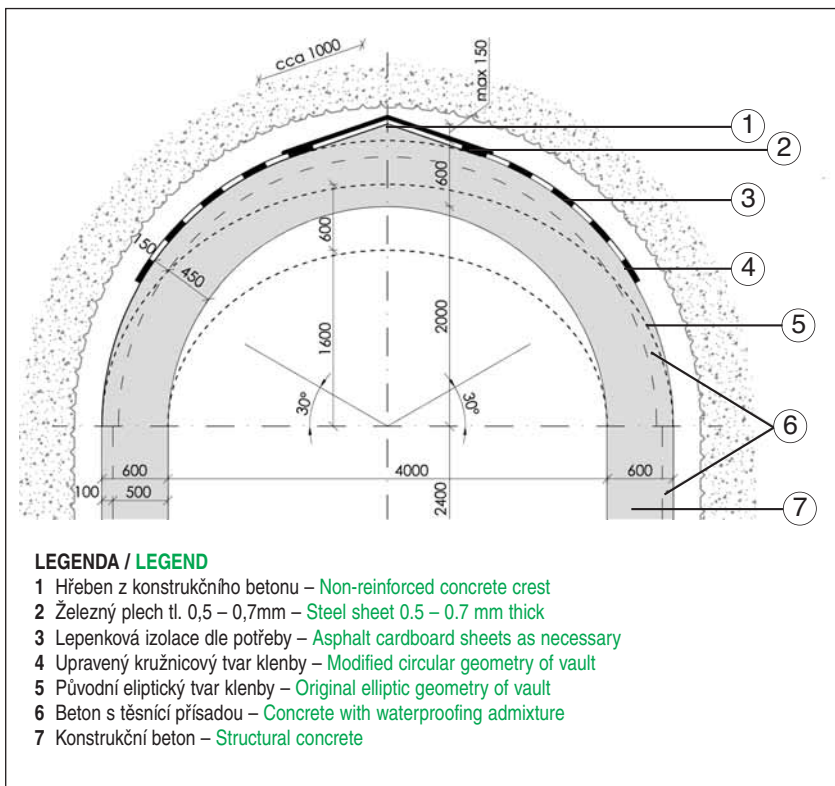
The impermeableness of the lining in favourable conditions was to be provided only by high-quality compaction of the concrete mix itself, with a waterproofing agent added to the mix to be used for external layers, as mentioned above, e.g. Vista – Densyl K (the Bouda and Hanička fortresses). Because of the fact that geological and hydrological conditions in the underground were revealed more or less as late as during the excavation of underground spaces, several typical measures against increased inflows of water into the underground working were prepared.

- In the case of incoherent overburden, the vault profile was to be changed from elliptical to circular, where the height of vertical lining walls remained unchanged. The vault crown was to be further modified by increasing the level of its top by adding a maximum 15 cm high “concrete crest” on it. On the one hand,



Obr. 15 Muniční sál profilu 520/460 v podzemí tvrze Dobrošov s definitivním ostěním; součást prohlídkového okruhu  
Fig. 15 A 520/460-profile ammunition store room in the Dobrošov fortress underground with the final lining installed - part of the guided tour





Obr. 16 Schéma izolačních opatření klenby definitivního ostění ve velmi nepříznivých podmínkách

Fig. 16 Diagram of waterproofing measures for the final lining vault to be installed in very unfavourable conditions

zaručena funkčnost odvodnění. V případě, že zastižené podzemní prameny a průsaky byly klasifikovány jako zdravotně nezávadné, byly sváděny pomocí samostatného potrubí pod podlahami chodeb a sálů do rezervoárů, odkud se pak tato pitná voda rozváděla podle potřeb jednotlivých tvrzí (kuchyně, toalety, sprchy, ošetrovna, chlazení technologických zařízení apod.).

#### 4 ZÁVĚR

Opevnění, budované v Československu ve 2. polovině 30. let 20. století proti vojenské agresi okolních států, zůstalo nedokončeno. Ve fázi největšího tempa výstavby jej zastihla tehdejší politická rozhodnutí. Přesto v této době vzniklo dílo, které v naší republice nemá obdoby.



Obr. 17 Izolace s použitím plechů na klenbě ostění sálů kasáren tvrze Dobrošov; ze snímku jsou také poměrně dobře patrné zkrácené záběry betonáže vrchlíku klenby

Fig. 17 Waterproofing using steel sheets on the vault of halls of the Dobrošov fortress barracks. It is, in addition, possible to relatively well see the reduced length of casting blocks of the vault crown

the volume of excavation slightly increased, on the other hand, it was expected that, owing to the increased gradient of its upper surface, water would be removed from the vault surface to drains running along the walls faster.

- In the locations where weak water inflows were to be encountered, the shape variant of the vault described in the previous case was to be applied, with the covering of the external surface of the vault with the asphalt cardboard sheets which were available at that time. The extent of this treatment was roughly delineated by the line declining 30° from the vertical line led from the vault springing.
- In the locations where strong water inflows were to be encountered, a combination of the two above-mentioned measures was to be used, where a part of the asphalt waterproofing sheets was replaced by steel sheets 5 – 7 mm thick (see Figures 16 and 17). The steel sheets were to be about 100 cm long in the lateral direction and were to overlap each other in the longitudinal direction, forming a lock joint. They had to be treated by several layers of asphalt coating on either side so that their durability was ensured.

The above measures were prepared as typical solutions for 400/400 and 520/400 cm hall dimensions. In the cases of smaller profiles, first of all connecting galleries, the vault geometry was not changed because of the fact that circular cross-sections were designed for all profiles. Anyway, waterproofing consisting of asphalt bars and steel sheets, as well as the concreting of the “crest”, was designed even for these cases (Figures 18 and 19).

In the praxis, mostly only minor deviations from the proposed solutions were implemented during the construction of linings of underground spaces. The deviations were based on guarantees and experience of construction contractors.

Ground water was evacuated from the surroundings of the workings by longitudinal drains installed in a gravel bed along the external surface of foundations. Thorough filling of the overbreak with stone packing ensured that water inflows seeped through this filtration and backfilling layer down to the drains located at the lining foundations (see Fig. 1). The drainage pipeline consisted of about 30 cm-long clay pipes with the inner diameter of 6 – 8 cm, laid with but joints. The drainage lines were diverted at certain intervals, usually every 20 m, through openings in the foundations into the inner space under the floors of galleries and halls, where they were connected to a larger-diameter central drainage line. When the concreting of floors had been completed, the access to the central drainage was provided through manholes. The side drains and the central drain followed a moderate gradient existing in all underground spaces. The function of drainage was ensured in this way. If the underground springs and the seepage were classified as non-damaging human health, they were evacuated through a separate pipeline running under floors of galleries and rooms to reservoirs. This potable water was subsequently distributed from the reservoirs according to the needs of individual fortresses (kitchens, toilets, showers, medical treatment rooms, cooling equipment rooms etc.).

#### 4 CONCLUSION

The fortification which was being built in Czechoslovakia in the second half of the 1930s against the military aggression of neighbouring states remained uncompleted. It was caught in the phase of the highest pace of the construction by political decisions of that time. In spite of this fact, the works which originated at that time are unparalleled in our republic.

Nearly 10,000 light-weight structures and 263 heavy structures were built during a very short period of time, lasting for about 5 years. It was necessary during this short period to develop the basic fortification



Obr. 18 Betonový „hřeben“ s izolací z lepenkových pásů na klenbě ostění hlavní galerie tvrze Dobrošov

Fig. 18 The concrete “crest” with waterproofing cardboard on the vault of the main gallery of the Dobrošov fortress

Během velice krátké doby, zhruba 5 let, bylo vybudováno 263 těžkých a téměř 10 000 lehkých objektů. Za toto krátké období bylo nutno vytvořit samotnou základní koncepci opevnění, kterou následovaly rozsáhlé projekční práce. Pro všechny konstrukce bylo nutno vyhledat optimální materiály a způsoby provádění. Samotná výstavba trvající tři roky se stala velkou výzvou pro stavební firmy, které se musely vypořádat s novými technologiemi, dbát na vysokou kvalitu prováděných prací pod přísným dohledem vojenského stavebního dozoru a dodržet velmi napjaté termíny výstavby. Staveniště v pohraničí byla často značně odlehlá, komunikace k nim procházely dosti nepřístupným terénem, zaměstnanci firem museli být výhradně české národnosti. Na stavbách bylo používáno minimum mechanizačních prostředků, převládala řemeslná ruční práce – na stavbě tvrze Stachelberg bylo k 31. srpnu 1938 zaměstnáno až 1500 dělníků. Vzhledem k značnému rozsahu prací na stavbě tvrzí působilo mnoho renomovaných firem (viz 1. část článku), ze kterých se v 2. polovině 20. století transformovala řada našich současných předních stavebních společností.

Většina opevňovacích staveb se zachovala ve velmi dobrém stavu do dnešních dnů. Výjimku tvoří pouze stavby poničené za okupace nebo poškozené poválečnou „těžbou“ prováděnou n. p. Kovošrot. Na ostění tvrzí v podzemí se lze setkat s vodními průsaky, v globálním měřítku však konstrukce bez problémů vyhovují, i když prováděná izolační opatření se mohou z dnešního pohledu zdát poněkud úsměvná. Vlivem přerušení prací jsou některé nevybetonované prostory podzemí tvrzí Dobrošov, Skutina, Stachelberg a Šibenice narušeny závaly a zatopeny vodou.

Na základě doložených faktů a informací, předkládaných ve stručné verzi v tomto článku, můžeme pouze smeknout před dosaženými stavebními výkony a zručností našich tunelářských předchůdců.

BC. JAKUB MIKOLÁŠEK, mikolasek@seznam.cz,  
 PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., bartakj@fsv.cvut.cz,  
 KATEDRA GEOTECHNIKY FSv ČVUT

Recenzoval: Ing. Pavel Šourek



Obr. 19 Izolace klenby ostění s použitím střešovitého plechu na betonovém „hřebenu“ u hlavní galerie tvrze Dobrošov

Fig. 19 Waterproofing on a lining vault using roof-like steel sheets on the concrete “crest” at the main gallery of the Dobrošov fortress

concept itself, which was followed by extensive work on designs. It was necessary to find optimum materials and construction procedures for all structures. The 3 years lasting construction itself became a great challenge for construction contractors, which had to cope with new technologies, to look to the high quality of the work executed under strict military supervision and meet highly strained construction deadlines. Construction sites located in border areas were often very remote, roads to them passed through quite inaccessible terrains, the employees of contractors had to be exclusively of Czech nationality. Minimum mechanisation equipment was used on construction sites and craftsman's manual work prevailed. Up to 1,500 workers were employed on the Stachelberg fortress construction site as of 31st August 1938. With respect to the large extent of the works, numerous renowned firms (see Part 1 of this paper), from which many of our today's prominent construction companies were transformed in the second half of the 20th century, were employed on the fortress construction sites.

The majority of fortification structures have been preserved in a very good condition till now. The only exceptions are the structures damaged during the German occupation or the structures damaged by the post-war “exploitation” carried out by Kovošrot n. p. (a company dealing in metal scrap). On the other hand, it is possible to see local leaks of water through the linings in the underground of the fortresses. But, on global scale, the structures are satisfactory, despite the fact that the waterproofing measures may, in retrospect, seem to be a little comical. Owing to the suspension of the works, some underground spaces of the Dobrošov, Skutina, Stachelberg and Šibenice fortresses where concrete linings were never installed were destroyed by collapses and became waterlogged.

Taking into consideration the documented facts and information presented in a brief version in this paper, we can only salute our tunnelling ancestors' skills and outputs of their work.

BC. JAKUB MIKOLÁŠEK, mikolasek@seznam.cz,  
 PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., bartakj@fsv.cvut.cz,  
 THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
 OF THE CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] GREGAR, O., ČERMÁK, L., RÁBOŇ, M. *Skutina potřetí*. In Fortsborník č. 4/5. Brno: Společnost přátel československého opevnění, 1998. s. 11–53.
- [2] HOBST, L., ZWETTLEROVÁ Y. *Betony vojenských opevnění*. In BETON 6/2003, s. 24–27.
- [3] KAPLAN, V., BROŽ, J. *Opevnění na Náchodsku: Skutečnost a vzpomínky*. 1. vyd. Náchod: Okresní muzeum v Náchodě, 1988, 128 s.
- [4] *Současná fotografická dokumentace*: Jan Juřena, Michal Souček.
- [5] *Podklady z terénního průzkumu zpracované Jaroslavem Brožem, Ladislavem Čermákem, Oldřichem Gregarem a Jakubem Mikoláškem*