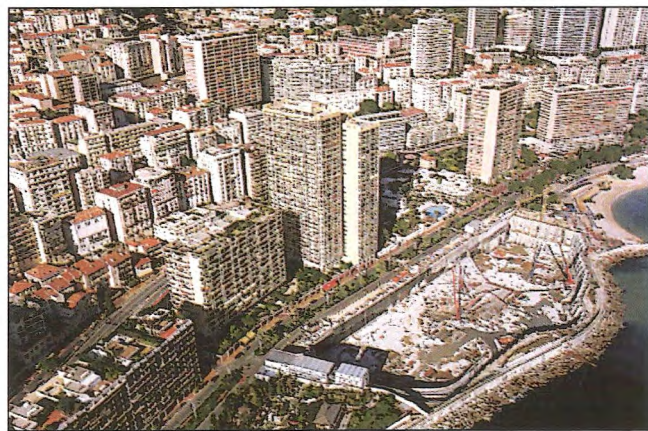


V této sekci byly uvedeny praktické příklady toho, v jakých případech a jakým způsobem došlo k bezprostřednímu technologickému propojení výzkumu a provádění betonových konstrukcí. V řadě případů vyvolaly nepředvídané problémy při provádění staveb nutnost rychlého, operativního výzkumu a aplikaci nových technologických postupů, které jsou zdrojem inspirace a poučení při projektování a provádění dalších betonových konstrukcí.

The session showed practical examples of how and in which cases technology transfer between research and practice could be made. Also, specific cases where practice had been the source of new developments to be used on site were shown in the session.

Jímka pro Forum Grimaldi v Monackém knížectví



Obr. 1 – Celkový pohled na staveniště Forum Grimaldi v Monaku / The general view of the Forum Grimaldi building site

Forum Grimaldi (umělecké a výstavní centrum) vybudované na poldru z šedesátých let má být dokončeno v roce 2000.

Budova půdorysných rozměrů 250 × 80 m, výšky přibližně 40 m je asi 20 m pod hladinou moře, aby nebránila výhledu sousedních budov. Budova je proto zapařena do 25 m hluboké jímky, která ji chrání proti zemnímu a vodnímu tlaku (obr. 1). Budova se má podobat ledovému kopci – její 14 m vysoká část má být z dřeva a má být zakryta betonovou a ocelovou konstrukcí (její přízemí je 6 m pod hladinou moře).

Hluboký výkop byl pažen opěrným systémem složeným ze stěnových diafragmat obsahujících již prvky nosné konstrukce.

Monako leží v seismické oblasti. Příslušné výpočty byly provedeny jak pro dočasnou jímku, tak pro definitivní konstrukci.

Geologické a hydrologické poměry

Směrem do vnitrozemí je vápenec, směrem k moři jsou křídové útvary. Skalní podloží je pokryto přibližně 10 m tlustou vrstvou písku. Kolísání hladiny je mezi 0,7 do 1,20 m. Přílivy prakticky neexistují, ale mořské vlny běžně dosahují výše až 4 m nad nábrežní zeď.

Jímka

Při realizaci vstaly dva problémy:

- nedostatek spojitých stropních konstrukcí, které by tvořily rozepření opěrných stěn,
- vzhledem k tomu, že výstavní prostory mají mnoho volného prostoru, vlastní tíha konstrukce budovy byla nedostačující proti nadzvednutí budovy vztlakem.

První problém byl řešen použitím samostatné opěrné stěny složené z diafragmové stěny, žeber a obruby (kvadrátka). Systém rozpírala základová deska.

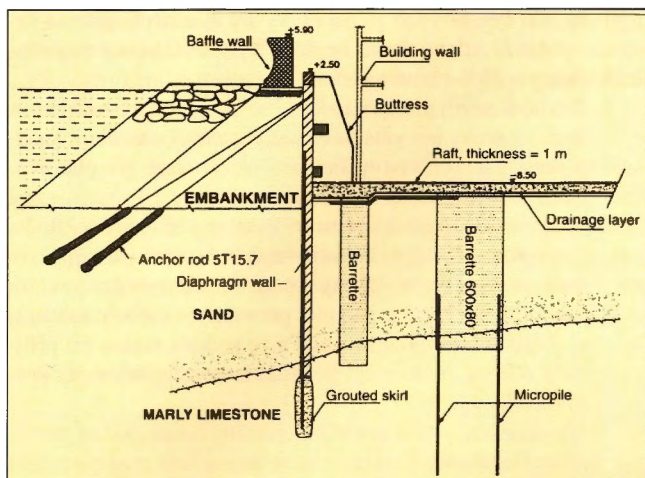
Druhý problém byl řešen permanentním čerpáním snižujícím tlak vody pod základovou deskou tak, aby tato deska nevyplavala. Čerpalo se 630 m³ vody za hodinu.

Opěrný systém (obr. 2) se skládá z:

- diafragmových stěn tloušťky 0,80 m, délky 6 m s provizorními zemními kotvami (při výstavbě) kotvenými do skalního podloží. Svisle jsou stěny kotveny v patě do skalního podloží prostřednictvím tažených mikropilot,
- obrub průřezu 2,80 × 0,60 m umístěných kolmo k diafragmovým stěnám každých 6 m,
- základové desky, jediné rozpěry systému,
- žeber umístěných každých 6 m ve středu diafragmových stěnových panelů, spočívajících na základové desce.

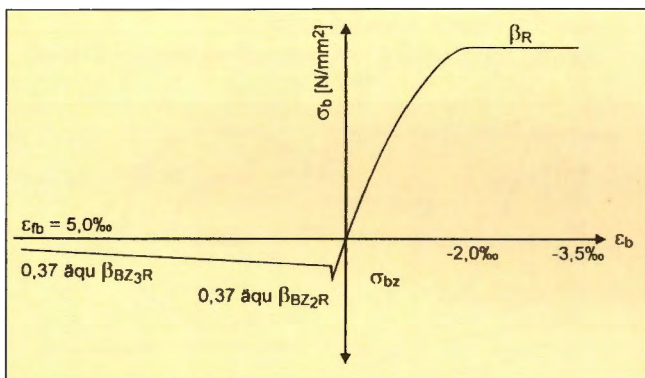
Drátkobetonové segmenty pro ostění druhého tunelu Heinenoord

Stavební oddělení ředitelství veřejných prací a vodního hospodářství se rozhodlo realizovat několik kruhových prstenců ostění druhého tunelu Heinenoord z drátkobetonových segmentů. Oddělení betonových konstrukcí University v Delftu vypracovalo nejprve přehled současného stavu poznání charakteristických vlastností drátkobetonu se zřetelem na jeho použití v ostění tunelů. Studie prokázala proveditelnost tohoto záměru. Vzhledem k tomu, že v Holandsku neexistují žádná pravidla pro navrhování drátkobetonu, byl provedený výpočet ověřován zkouškou.



Obr. 2 – Systém pažení stavební jámy / Self-stable retaining wall

Podle výpočtu tahová napětí za ohybu nepřekračují pevnost prostého betonu, nicméně měření na prvním tunelu prokázala, že naměřená napětí jsou větší než vypočtená. Štěpná napětí v oblasti tlačného zařízení zjišťovaná početně i experimentálně přestupovala pevnost betonu. Z těchto důvodů byl použit drátobeton se 60 kg drátků na 1m³ betonu. Pracovní diagram stanovený podle DBV – Merkblatt 1992, který byl použit pro numerické výpočty, je patrný z obr. 3. Bylo navrženo 112 segmentů a 16 klenáků.



Obr. 3 – Pracovní diagram drátobetonu pro ostění tunelu Heinenoord / Stress strain diagram for SFRC

Výroba

Výrobní proces segmentů

- zamíchání směsi
- betonáž
- povrchová úprava
- odformování
- uložení

Zamíchání směsi

- zpracovatelnost byla obtížnější než u prostého betonu;
- vlákna byla přidávána ručně do kameniva před uložením do míchačky;
- do míchačky byl nejprve dán cement a voda, pak kamenivo s vlákny;
- míchání tři až pět a půl minuty – musí být dosaženo rovnoměrného rozdělení vláken ve směsi;
- složení betonové směsi viz tab. 1.

Tab. 1 – Složení použité betonové směsi / SFRC mix composition

Složka	Množství na 1 m ³ betonové směsi
Portlandský cement CEM I 52,5	87,5 kg
Vysokopecní cement CEM III/B 52,5	262,5 kg
Písek 0-4	43% kameniva
Štěrka 4-16	57% kameniva
Ztekucovač	1,4% (vztaheno k množství cementu)
Vodní součinitel	0,42
Ocelové drátky s háčky	
DRAMIX RC 80/60 BP	60 kg/m ³

Betonáž

Směs z mísícího zařízení padala na dopravní pás, kterým byla dopravována do bednění. Problémem bylo, že tuhá směs ucpávala otvor mezi mísícím zařízením a dopravníkem. Tuhost směsi měla vliv i na orientaci a rozdělení drátků. Bylo prokázáno, že orientace drátků v prvku není rovnoměrná.

Úprava povrchu

Byla obtížnější než u prostého betonu. Drátky byly i těsně u povrchu, dokonce z něho vyčnívaly. Bylo rozhodnuto přidat na vnější povrch segmentu epoxidový nátěr.

Odbedňování

Tuhá směs stírala odbedňovací nátěr. Zlepšení bylo dosaženo přidáním plastifikátoru.

Osazování segmentů

Před a po osazení byly segmenty kontrolovány z hlediska trhlin. Před osazováním byly segmenty bez trhlin (trhlinu měl jeden). Při osazování se u několika prvků objevily trhliny v blízkosti osazení tlačného zařízení – byly signalizovány vlhkými skvrnami. Zabudování segmentů proběhlo v celku úspěšně.

Spolehlivý návrh s přihlédnutím k životnosti konstrukce

Je známa metodika pravděpodobnostního návrhu konstrukce s přihlédnutím k cyklu životnosti konstrukce. Metoda umožňuje stanovit úroveň spolehlivosti a upřesňovat ji v průběhu používání, pokud při prohlídkách konstrukce opatříme patřičné doplňující údaje. Tento postup lze použít i pro určení nákladů na cyklus životnosti, odpovídajících příslušné kvalitativní úrovni spolehlivosti. Je však třeba vykonat ještě mnoho práce, aby byla tato metoda prakticky použitelná.

V zásadě je vždy třeba navrhnout konstrukci tak, aby sloužila uspokojivě v průběhu celé její zamýšlené životnosti. Při návrhu konstrukce se ověřuje, zda zamýšlená životnost může být dosažena s přijatelnou úrovní spolehlivosti. Stávající normy poskytují pouze kvalitativní definice prostředí, nedefinují však nárhovou životnost ve vztahu k trvanlivosti.

Při návrhu přihlížejícím k životnosti ve vztahu k trvanlivosti je třeba uvažovat ve výpočtu:

- geometrii uvažované konstrukce,
- použité materiály,
- prostředí, ve kterém je konstrukce umístěna,
- úroveň provedení,
- hlavní narušující mechanismus – většinou způsobující korozi výztuže,
- plánované prohlídky konstrukce.

Deterministický a probabilistní (pravděpodobnostní, nedeterministický) přístup k návrhu z hlediska trvanlivosti je ilustrován na příkladu přímořské konstrukce umístěné ve dvou prostředích:

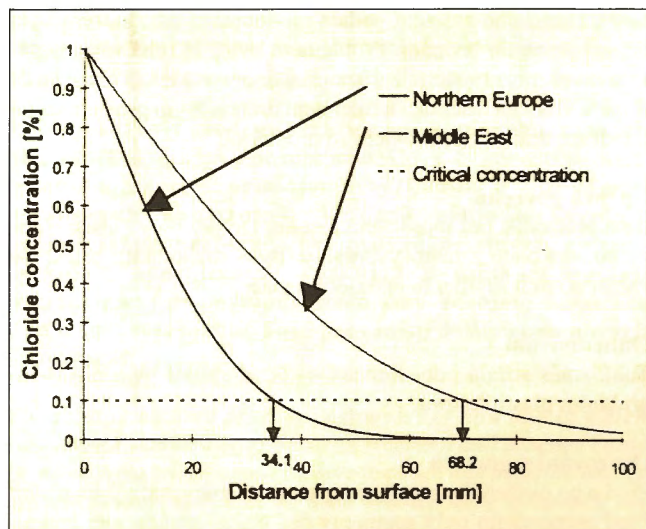
- v severní Evropě při uvažované průměrné teplotě 10 °C,

– na Středním východě při uvažované průměrné teplotě 30 °C.

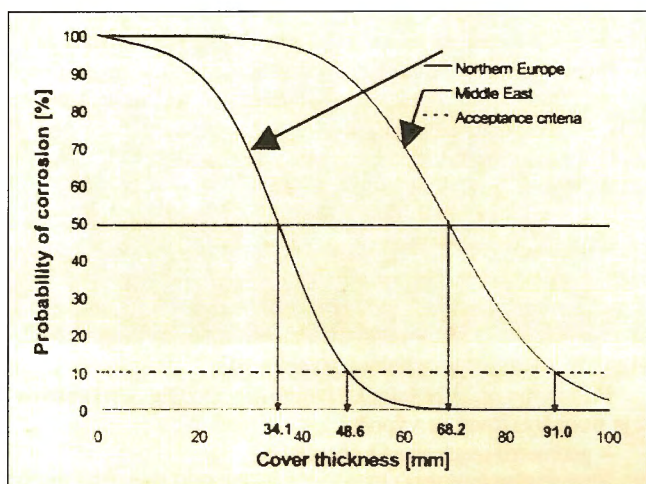
Návrhová životnost konstrukce se předpokládá 50 let. Z hlediska trvanlivosti má být stanovena krycí vrstva betonu tak, aby koroze výztuže vyvolaná chloridy začala až za 50 let.

Na obr. 4 je uvedena tloušťka krytí určená na základě dnešního deterministického přístupu. Z obr. 5 je zřejmé, že deterministický přístup vede k 50% pravděpodobnosti začátku koroze. Požadujeme-li nižší pravděpodobnost vzniku koroze, tloušťky krycí vrstvy je nutno zvětšit.

Ukázka nákladů na cyklus životnosti je uvedena na obr. 6 na



Obr. 4 – Deterministický přístup – graf závislosti krycí výztuže betonem na koncentraci chloridů. Vypočtené krytí betonem zajišťující 50letou životnost konstrukce při koncentraci chloridů 0,1% hmotnosti betonu / Deterministic approach. Required concrete cover to ensure 50 year's service life and assuming a chloride threshold value of 0.1% of the weight of concrete



Obr. 5 – Pravděpodobnostní přístup – graf závislosti pravděpodobnosti vzniku koroze na tloušťce krycí výztuže betonem při 50leté životnosti konstrukce. Je patrné, že deterministický přístup vede k pouze 50% pravděpodobnosti. Požadovaná 10% pravděpodobnost vzniku koroze znamená značné zvětšení tloušťky krytí / Probabilistic approach. The deterministic approach provides only 50% probability of avoiding corrosion throughout 50 years service life. Accepting 10% probability of having corrosion initiated after 50 years results in considerably larger covers

příkladu 300 betonových pilířů délky 10 m umístěných na severním pobřeží Atlantického oceánu. Byly uvažovány následující varianty – čtyři různé návrhové strategie:

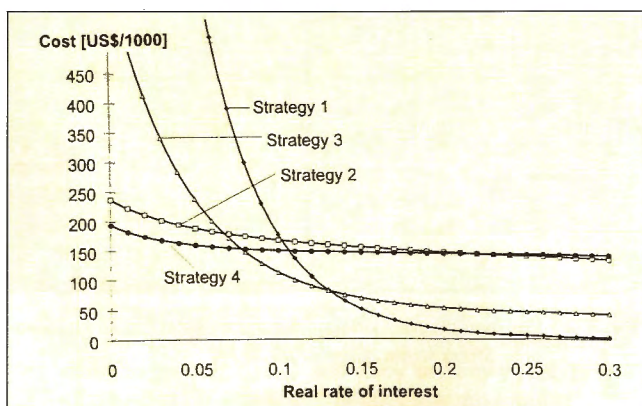
1. Tradiční návrh předpokládající běžný beton, běžné provedení a opravy při větším rozsahu koroze vedoucím k odpadávání krycí vrstvy betonu pozorované při plánovaných prohlídkách.
2. Návrh uvažující beton vysoké kvality, větší krycí výztuže, optimální provedení a ošetřování, kontrolu kvality provedení, pravidelné prohlídky a pouze malé opravy.
3. Tradiční návrh při uvažování preventivní katodové ochrany částí ponořených ve vodě a ve styku s vodou při přílivu a odlivu, opravy při počátku koroze zjištěné při prohlídkách.
4. Tradiční návrh předpokládající běžný beton, běžné provedení. Polovina výztuže je však provedena z nerezavějící oceli. Pravidelné prohlídky.

Náklady stanovené pro všechny alternativy v závislosti na reálné úrokové míře uvažované od 0 do 30% jsou patrné z obr. 6. Varianty 1 a 3 velmi rychle akumulují náklady při relativně nízké úrokové míře, při vyšší úrokové míře se však ukazují jako výhodnější. V případě variant 2 a 4 jsou naopak náklady na cyklus životnosti při nízkých úrokových mírách nejnižší.

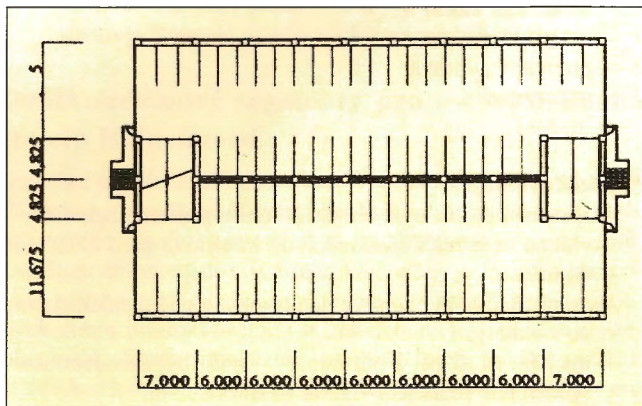
Betonové prefabrikované předpjaté parkovací konstrukční systémy

Výhody prezentovaného konstrukčního systému:

- umožňuje velká rozpětí stropních konstrukcí a tím i větší rozměry objektu – snadné parkování,
- vysoká jakost dílců z výroby – přísná kontrola kvality,



Obr. 6 – Náklady na cyklus životnosti pro čtyři různé návrhové strategie / Life cycle costs for the four different design strategies



Obr. 7 – Půdorysné schéma garáží – varianta 1 / Case 1 – plan

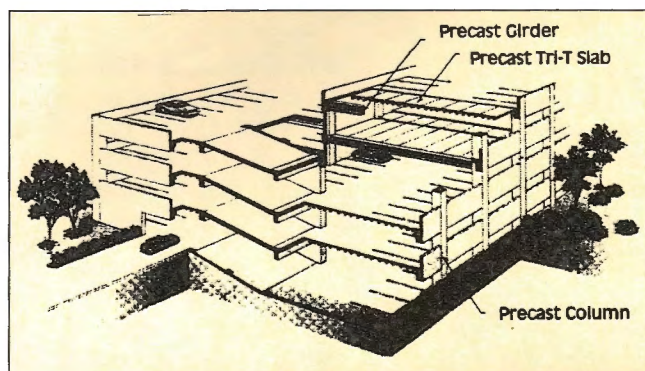
- krátká doba výstavby,
- minimální údržba.

Konstrukční systém se v praxi aplikuje ve dvou základních uspořádáních:

a) Varianta 1 (obr. 7 a 8)

Předpjaté prvky: sloupy, nosníky v obou směrech, spřažené desky (prefa TT prvky a monolitická spřahující deska). Vysoké nosníky a stěny betonované na místě. Předpjatý styk předpjatého sloupu a nosníku při použití kabelů, předpjatý styk předpjatého sloupu a monolitického vysokého nosníku pomocí tyčové výztuže (obr. 9).

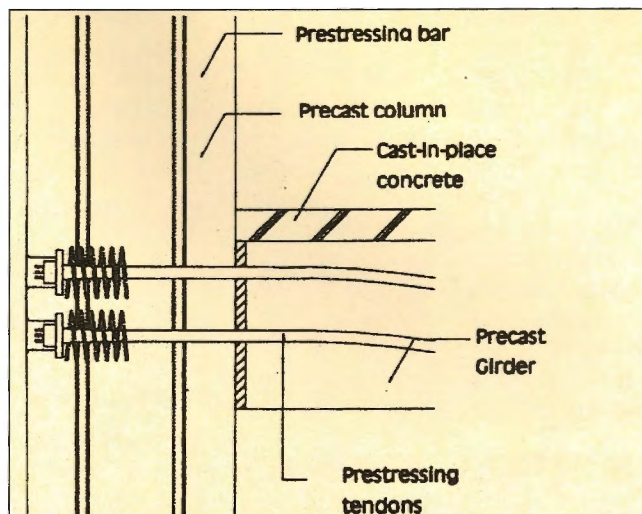
b) Varianta 2 (obr. 10)



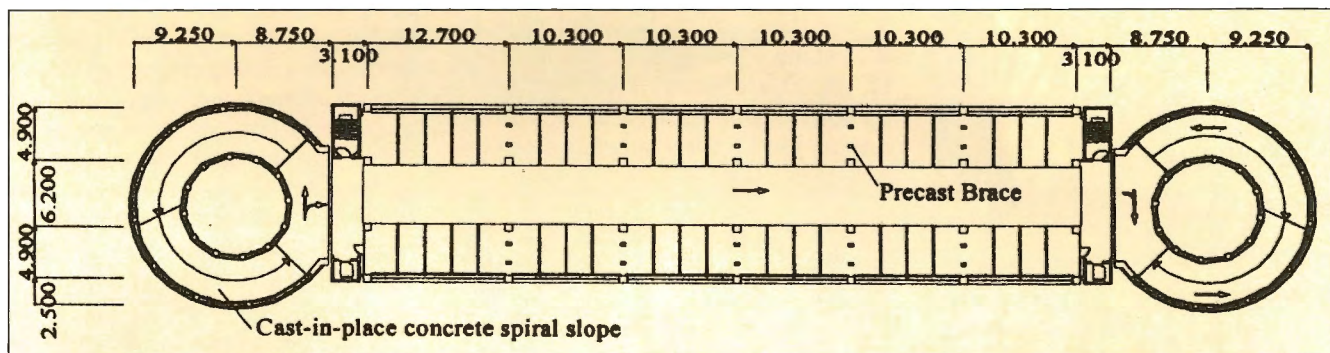
Obr. 8 – Axonometrický pohled na typické uspořádání garáží – varianta 1 / Case 1 – isometric drawing

Na koncích objektu spirálovité předpjaté nájezdové rampy ztužující budovu. Spřažené konstrukce, prefabrikované sloupy, nosníky i ztužující prvky ve tvaru ležatého K mezi sloupy (konstrukce v seizmické oblasti).

Prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc., Fakulta stavební ČVUT, Katedra betonových konstrukcí a mostů, Thákurova 7, 166 29 Praha 6



Obr. 9 – Detail styku prefabrikovaného sloupu a spřaženého stropní konstrukce / Case 1 – joint detail



Obr. 10 – Půdorysné schéma garáží – varianta 2 / Case 2 – plan

Před dvěma tisíci lety...

Řím, Imperium Romanum – PODEJME VÝKLAD O ŠTUKOVÝCH PRACÍCH (OPUS ALBARIUM). PO TĚTO STRÁNCE BUDE VĚC V POŘÁDKU, BUDOU-LI KUSY NEJLEPŠÍHO VÁPNA UHAŠENY DLOUHO PŘEDTÍM, NEŽ HO BUDE POTŘEBA, ABY KAŽDÝ VE VÁPENCE SNAD MÁLO VYPÁLENÝ KUS BYL VLHKOSTÍ PŘI DLOUHOTRAVAJÍCÍM HAŠENÍ DONUCEN DOKONALE VYVRÁT A DOKONČIT PROCES ROZVAŘENÍ NAJEDNOU S OSTATNÍM VÁPNEM. VEZME-LI SE TOTIŽ A NAHODÍ-LI SE VÁPNO DO HLOUBKY JEŠTĚ NEPROHAŠENÉ, NÝBRŽ ČERSTVÉ, KTERÉ MÁ V SOBĚ JEŠTĚ SKRYTÉ SYROVÉ HRUDKY, BUDE TVOŘIT BUBLINY. DOKONČUJÍ-LI HRUDKY PROCES ROZVAŘENÍ TEPRVE VE STAVBĚ, ROZRUŠUJÍ A ROZKLÁDAJÍ OMÍTKOVÉ PRÁCE.

PO SPRÁVNÉM VYHAŠENÍ VÁPNA A PO JHO VELMI BEDLIVÉ PŘÍPRAVĚ K DÍLU SE VEZME MÍCHAČKA MALTY A UHAŠENÉ VÁPNO SE PROMÍCHÁ VE VÁPENNĚ JÁMĚ TAK, JAKO SE DĚLÁVÁ MALTA. LEPÍ-LI SE NA MÍCHAČKU VÁPNO V HRUDKÁCH, NENÍ JEŠTĚ SPRÁVNĚ PROPRACOVÁNO; VYTAHUJE-LI SE HŘEBLO SUCHÉ A ČISTÉ, PROKAZUJE TO, ŽE JE VÁPNO VYPRCHALÉ A SUCHÉ. JE-LI VŠAK VÁPNO MASTNÉ A SPRÁVNĚ UHAŠENÉ, LNE OKOLO UVEDENÉHO NÁČINÍ JAKO LEP A CELÝM ZJEVEM PROKAZUJE, ŽE JE V POŘÁDKU.

PAK SE POSTAVÍ LEŠENÍ A PROVEDE SE ZAKLENUTÍ STROPŮ V MÍSTNOSTECH, NEBUDOU-LI SE MÍSTNOSTI OPATŘOVAT OZDOBNÝM ROVNÝM STROPEM KAZETOVANÝM. (*Vitruvius: De architectura libri decem, kniha II., kapitola VIII. Řím, Imperium Romanum, cca 20 př. Kr.*)

Milák Tichý