

METODIKA PRŮZKUMŮ A OPRAV NOSNÝCH KONSTRUKCÍ PAMÁTEK

Zajištění statické funkce při zachování autenticity
(vydal NPÚ v roce 2022)

<http://www.nusl.cz/ntk/nusl-520525>

JAN VINAŘ,
ČKAIT 17. ledna 2022
Sv. Jur, 12. března 2026





Na fasádách jsou tvrdé omítky bez dilatací, po 100 letech se vlasové smršťovací trhliny **A** rozšířily, působením srážkové vody došlo k lokální degradaci cihel **B**.

Porucha **C** vznikla při zatížení stropu bouracím strojem.



Vila z 20. let bouraná bez povolení. Dodatečně zdůvodňováno špatným statickým stavem.

Závady v odvodnění **D** způsobily lokální poklesy základů **E**.

Chybná interpretace smršťovacích trhlin, závady v odvodnění, účelový posudek



E poslední úsek byl proveden bagrem bez pažení
F nesoudržná zemina pod základem se usmykla

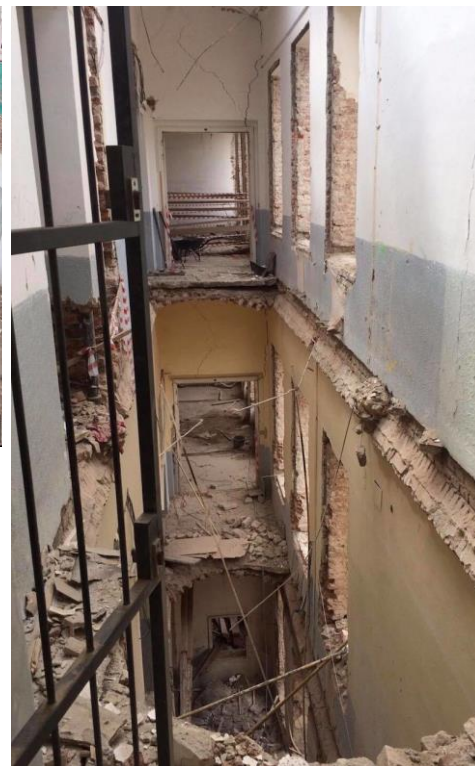


A velmi kvalitně postavený zámek
B neúspěšné odvlhčení nevětranou dutinou
C ve velkém rozsahu proveden kanál s
 drenáží a nopovou fólií až k základové spáře

D závady v odvodnění
 n



Nedostatečné odvodnění, nesprávný návrh, neprofesionální realizace

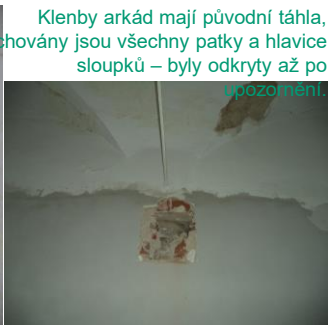


Bourání bez podepření kleneb, těžká mechanizace na stropě,
bourání bez dozoru stavbyvedoucího

Nedostatečný projekt, neprofesionální realizace



Renesanční zámek se zadržnými arkádami, projektant považoval trhliny ve spáře v zadržných arkádách za statickou poruchu, navrhl nad renesančními klenbami ocelovou konstrukci, na kterou vyvěsil pomocí vlepených táhel klenby. Dodatečně byly zjištěny malované renesanční stropy.

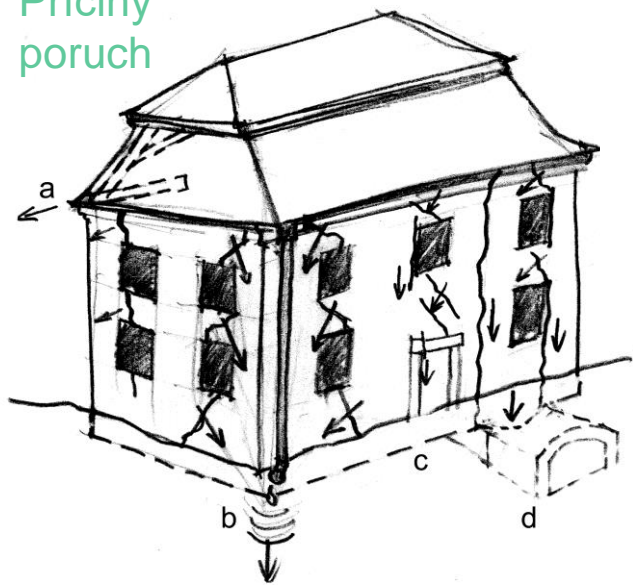


Klenby arkád mají původní táhla, zachovány jsou všechny patky a hlavice sloupků – byly odkryty až po upozornění.



Projekt bez stavebně historického průzkumu, velmi nezkušený projektant, nevhodné řešení

Příčiny poruch



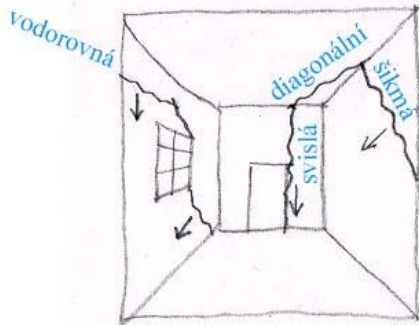
- a- vodorovná síla od krovu
- b- promočení základové zeminy
- c- pokles ve zdivu (porušení překladu)
- d- pokles základů (založení na klenbě)



smyková trhlina

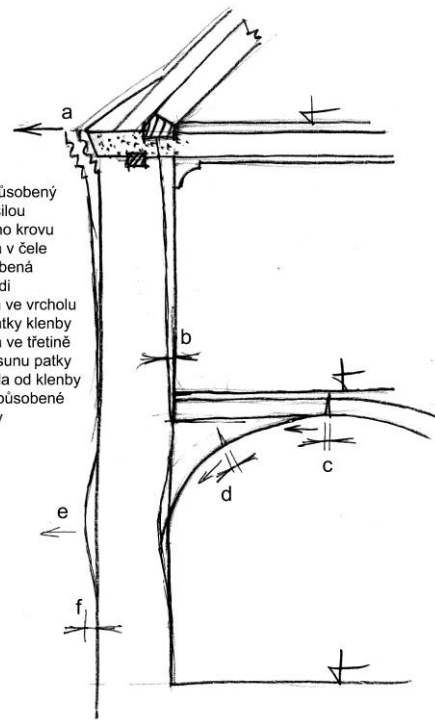
tahová trhlina

směry trhlín



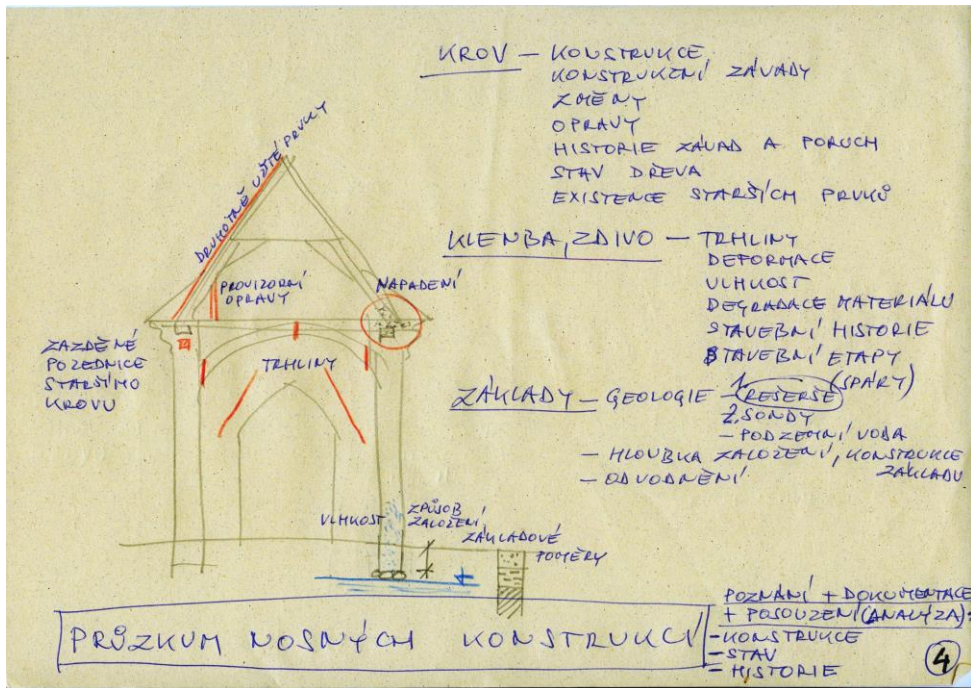
směr pohybu

Trhliny a deformace

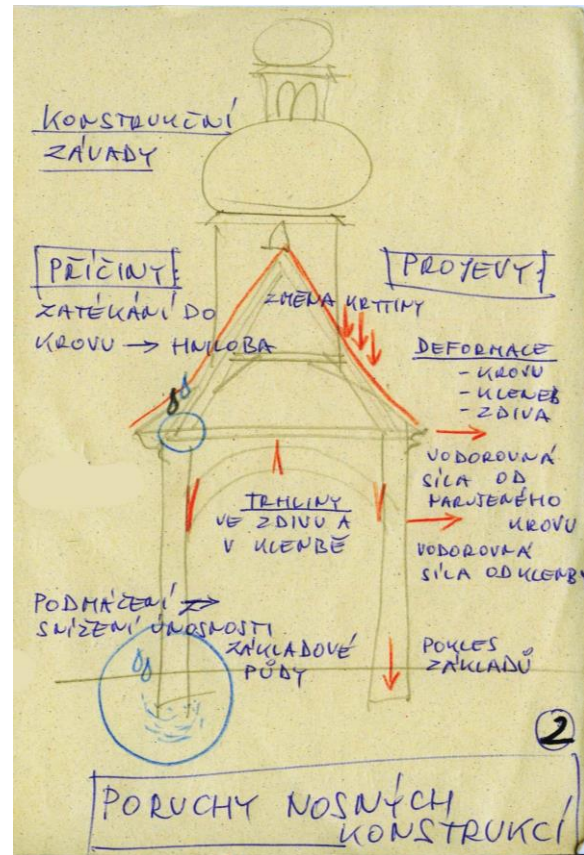


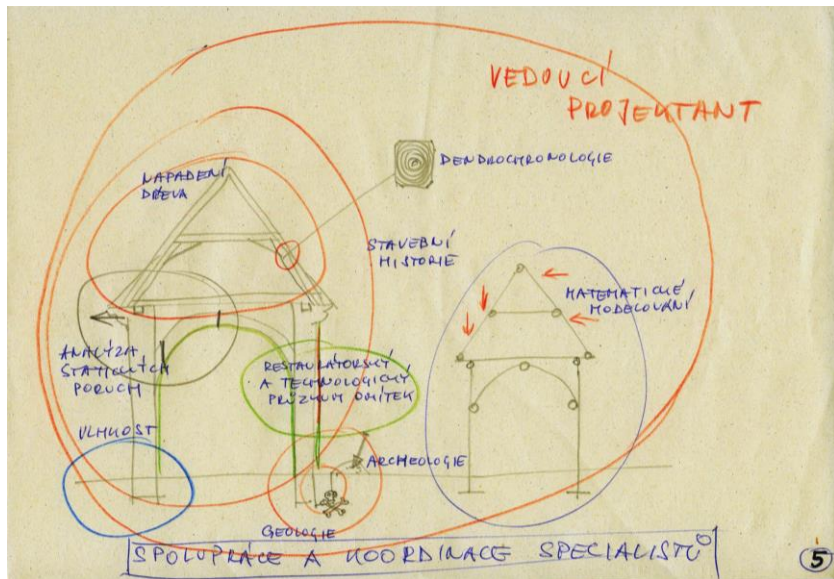
- a - výklon zdi způsobený vodorovnou silou od narušeného krovu
- b - tahová trhlina v čele klenby způsobená vykloněním zdi
- c - tahová trhlina ve vrcholu od posunu patky klenby
- d - tahová trhlina ve třetině klenby od posunu patky
- e - vodorovná síla od klenby
- f - boulení zdi způsobené tlakem klenby

tr.28 Působení vodorovných sil

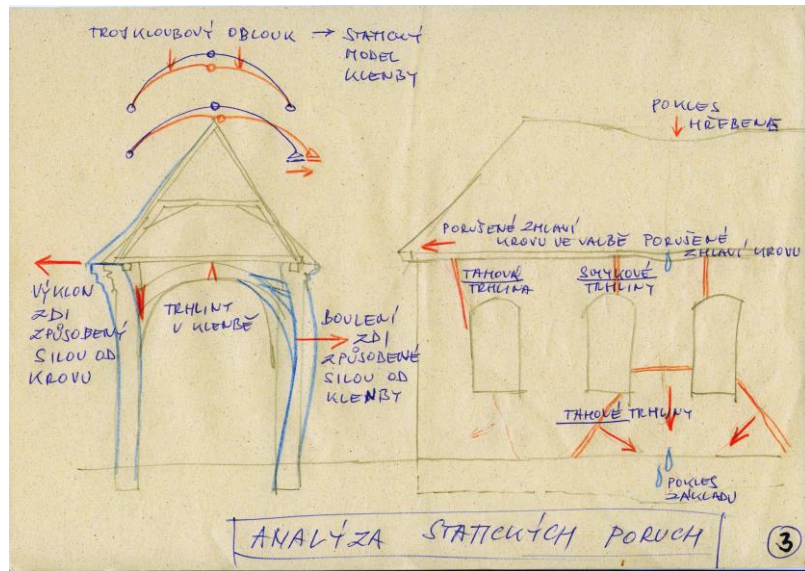


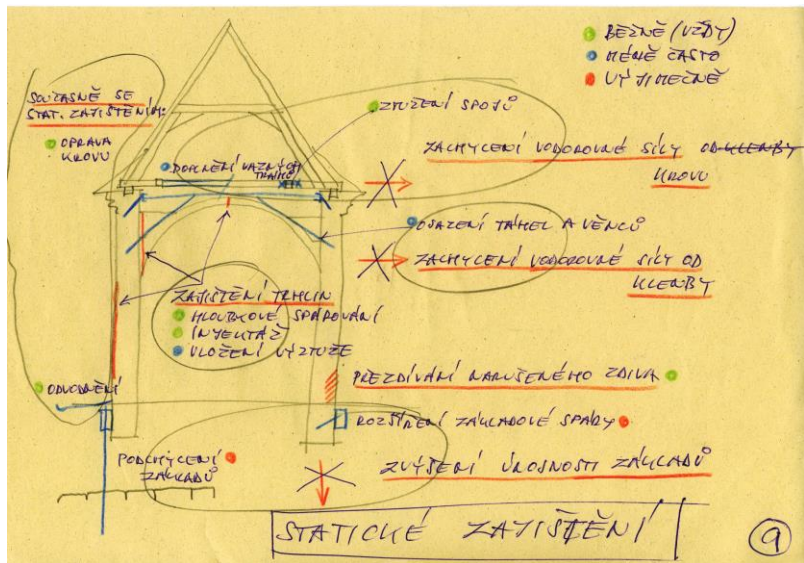
Problémy nosných konstrukcí
historické stavby



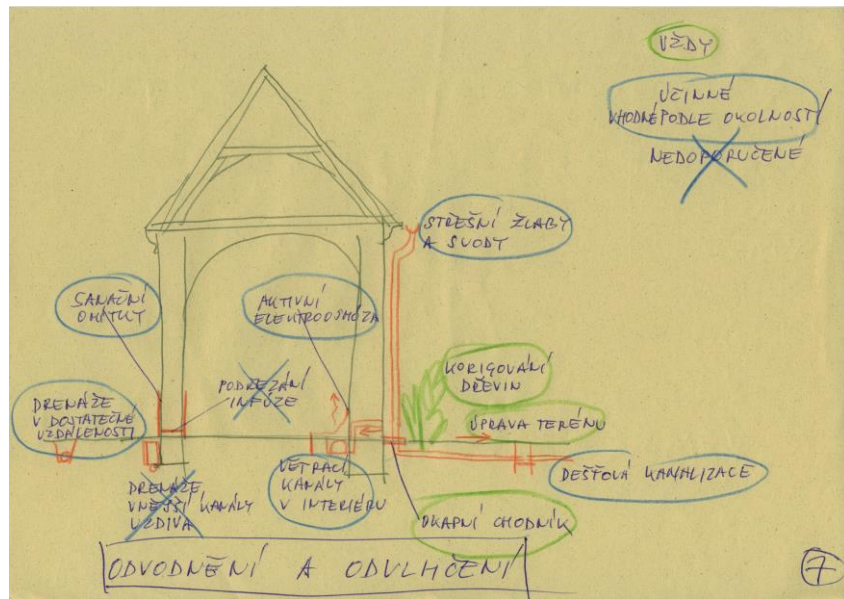


Koordinace průzkumů a analýza poruch





Odstranění příčin poruch



I. Úvod

II. Proces přípravy a realizace oprav a stavebních zásahů do nosných konstrukcí památkových staveb

III. Materiály, technologie, nosné konstrukce historických staveb

Zdivo Stavivo Malty Mechanické vlastnosti zdiva Pevnost Příčná deformace (tah) Tření

Zděné konstrukce Nosné zdivo Poruchy zdiva historických budov a jejich příčiny Posuzování a opravy zdiva

Pevnost zdiva narušeného trhlinami Pevnost zdiva mezerovitého Pevnost zdiva narušeného povětrností

Restaurování a restaurátorská konzervace Možnosti zvýšení únosnosti zdiva Hloubkové spárování a injektáž

Komíny Vnější konstrukce Ohradní a opěrné zdi Zříceniny a torsální objekty Pevnostní stavby

Klenba Oblouky/Typy kleneb Statický model klenby Konstrukce klenby Zdění kleneb Poruchy kleneb Opravy a úpravy kleneb Zděné mosty

Oprava trhlin a spar Únosnost klenby a její zesílení Vodorovná reakce klenby Prostupy klenbou, drážky v nosném zdivu

Základy Základy historických staveb Ochrana základové spáry/Základové půdy Podchycení základů

Dřevěné konstrukce Dřevo jako konstrukční materiál Posuzování dřevěných konstrukcí Spoje dřevěných konstrukcí Dřevěné krovy

Obytné podkroví Krovy věží Zvonové stolice Dřevěné stropy Dřevěné klenby Roubené stavby Hrázděné konstrukce Dřevěné mosty

Nosníky a stropy z jiných materiálů Kamenné nosníky Kamenné krakorce, pavlače, římsy Kamenná a visutá schodiště Novodobé stropy

Příčky Novodobé památkově chráněné stavby Novodobé tvrdé omítky a obklady Provizorní a pomocné konstrukce

IV. Historická stavba a její nosné konstrukce

Památková hodnota Kategorie staveb Statika stavby Únosnost Deformace Tuhost

Tření Armování nároží Oblá nároží Dřevěné věnce Dřevěné věnce v zemětřesných oblastech Táhla Zvýšení tuhosti stavby Stabilita

Posuzování a návrh opravy Rozdíly v navrhování historických a novodobých staveb / Bezpečnost

Statické zajištění / Novodobé materiály a technologie Záchrana a obnova devastovaných objektů Stárnutí materiálů a konstrukcí

Vnější vlivy Působení vlhkosti Ochrana před vlhkostí

Trvanlivost / Životnost

Údržba Životnost materiálů a konstrukcí

V. Metodické podklady

VI. Odborná literatura

VII. Rejstříky

Obsah Metodiky NPÚ

II. Proces přípravy a realizace oprav a stavebních zásahů do nosných konstrukcí památkových staveb

Úvod Postup Účastníci procesu Proces přípravy a realizace

Krok 1. – Zadání

Krok 2. – Zaměření a dokumentace současného stavu

Krok 3. – Průzkumy

Stavebně historický průzkum

Stavebně technický a statický průzkum

Stavebně statický průzkum

Obsah a rozsah standardního průzkumu

Doporučená skladba

Nezbytné podklady

Fáze průzkumu

Formy průzkumu

Statický výpočet

Kvalifikace zpracovatele

Geologický a hydrogeologický průzkum

Archeologický výzkum

Průzkum vlhkosti

Průzkum napadení

Dendrochronologický průzkum

Technologický průzkum

Restaurátorský průzkum

Krok 4. – Analýza průzkumů

Krok 5. – Koncepce řešení

Krok 6. – Projekt

Obsah a rozsah projektu

Technická zpráva

Statický výpočet

Výkresová část

Položkový výkaz výměr a rozpočet

Krok 7. – Schválení projektu

Krok 8. – Výběr zhotovitele

Krok 9. – Realizace stavby

Krok 10. – Předání stavby

Krok 11. – Záruční doba

Krok 12. – Údržba

Postup obnovy podle Metodiky NPÚ

STAVEBNĚ STATICKÝ PRŮZKUM

Obsah a rozsah standardního stavebně statického průzkumu (posudku)

Průzkum **zjišťuje, dokumentuje a posuzuje** (zakreslením, popisem, fotograficky, odběrem a analýzou vzorků, sondami, měřením a výpočty):

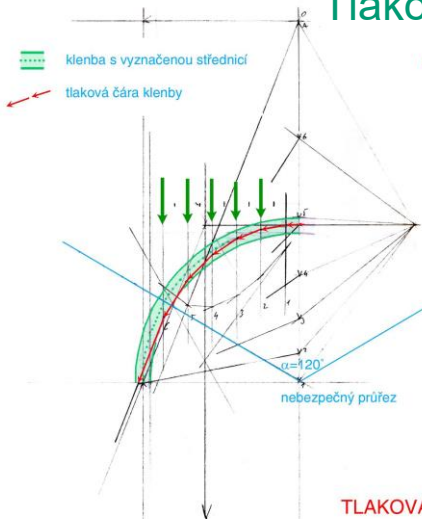
konstrukční systém a jeho změny (registruje druhotně použité prvky, zjišťuje prvky a doklady starších konstrukčních systémů), spolupůsobení konstrukcí, **parametry a dimenze** konstrukcí a prvků, **materiály** (druh, složení, vlastnosti, kvalitu, narušení, případně zdroje materiálu), **kvalitu návrhu a provedení** stávající stavby, správnost a efektivitu konstrukčních systémů i dílčích konstrukcí, vhodnost a kvalitu použitých materiálů, **vady**: chyby konstrukčního systému, chybějící prvky (odstraněné, neprovedené), **vady materiálu** (nedostatečná kvalita, poškození, skryté vady), **poruchy**: *trhliny, lomy* (polohu v konstrukci, směry, šířky, průběh) je třeba rozlišovat: tahové, smykové, ohybové, tlakové... trhliny ve směru konstrukcí (podélné, příčné) jsou **systemové** – jsou obvykle projevem vady nebo poruchy konstrukce (například nevhodný konstrukční systém, špatné založení), trhliny šikmé (ve svislé rovině) nebo diagonální (v rovině vodorovné) jsou projevem **lokální** poruchy (podmáčení, pokles, povolení podpory, porucha táhla apod.), trhliny **dilatační**, vzniklé při tepelném a dynamickém namáhání, trhliny **smršťovací**, vzniklé při dotvarování, **výsušné** trhliny, od trhlín je nutno rozlišovat otevřené (zvětralé) **spáry**, **deformace**: průhyby, poklesy, pootočení, výklony, vybočení, posunutí, boulení, vzpěr (polohu v konstrukci, velikost, směry), případné měření deformací, propady, destrukce,

příčiny narušení materiálu, konstrukcí a povrchů: **změny** stavby a jejího užívání (změny zatížení, přetížení, opravy, přístavby, nástavby, přestavby, rekonstrukce, změny funkce, ztrátu funkce, opuštění stavby, devastace, vandalismus, stavby v sousedství...), **vlhkost** (zdroj, místo a intenzita vlivu, rozsah narušení, tepelné mosty, vznik rosných bodů), **klimatické vlivy** (mráz, sluneční záření, větrná eroze, vlnění vody, příboj...), **chemické vlivy** (salinita, koroze...), **tepelné namáhání, vnější vlivy, provoz stavby**, **dilatace** (tepelné, dynamické), **smrštění materiálu, konsolidace základové půdy, dotvarování zdíva**, **dynamické namáhání** (doprava, zemětřesení, bouřky, vichřice...), **biotické napadení** (hmyz, řasy, plísně, houby...), **mimořádné vlivy** (povodně, požáry, havárie, válečné události...),

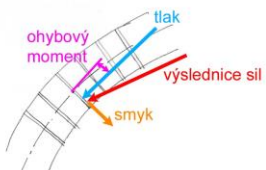
možnosti využití objektu a jeho omezení,

historii poruch

Tlaková čára, parabolická a přečňková klenba



namáhání ložné spáry klenby



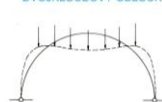
VETKNUTÝ OBLÓUK



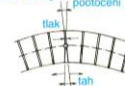
TROJKLOUBOVÝ OBLÓUK



DVOJKLOUBOVÝ OBLÓUK



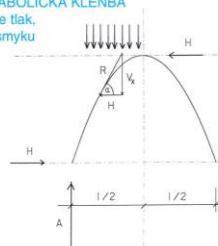
tahová hršina ve vrcholu zděné klenby



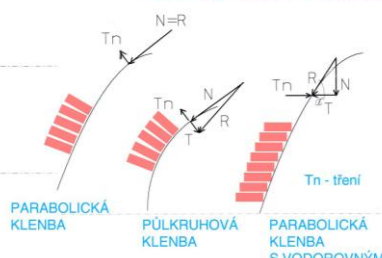
TLAKOVÁ ČÁRA PŮLKRUHOVÉ KLENBY



PARABOLICKÁ KLENBA
pouze tlak,
bez smyku



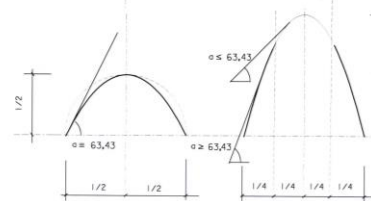
STATICKÁ SCHEMATA KLENEB



PARABOLICKÁ KLENBA

PŮLKRUHOVÁ KLENBA

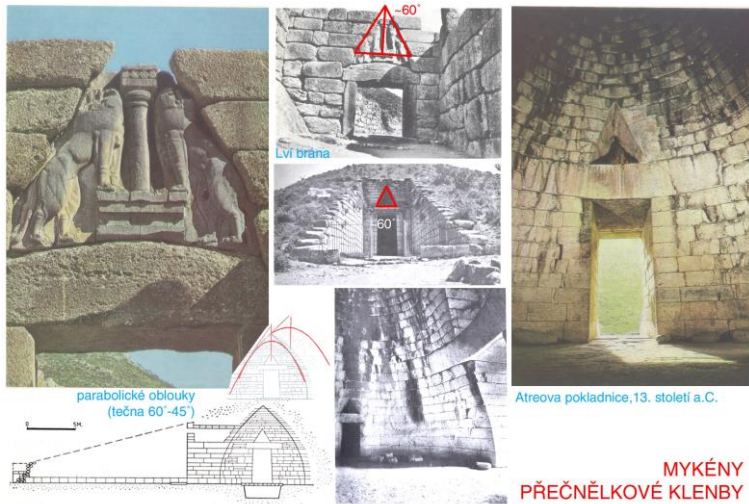
PARABOLICKÁ KLENBA S VODOROVNÝMI SPARAMI



$a = v$ ("gotický" trojúhelník)
 $\cotg \alpha = 1/2$
 $t = 0,5$ (koef. tření ve zdivu)

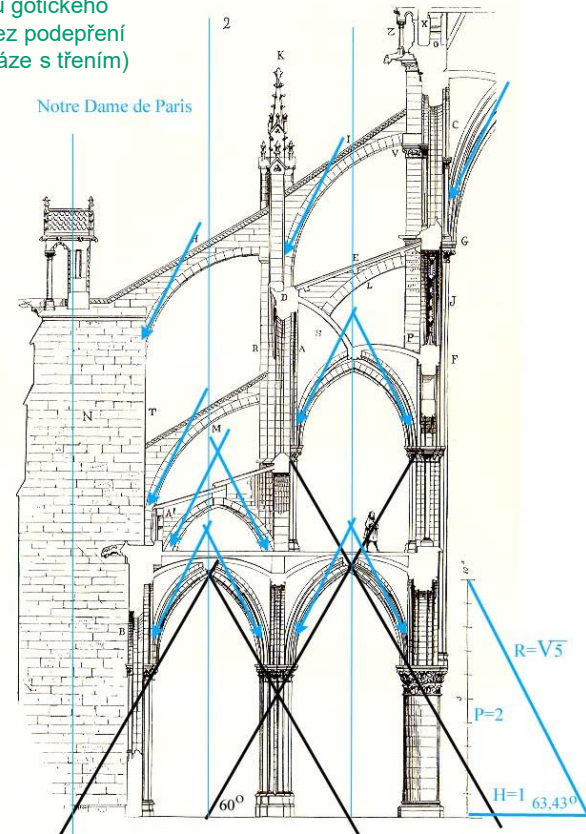
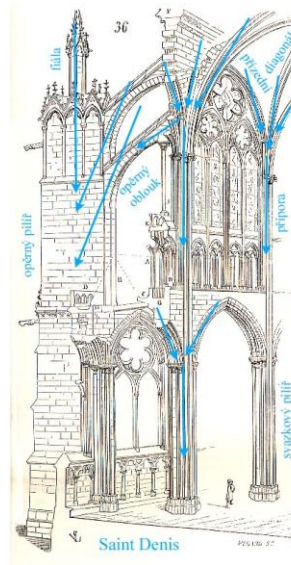
SMĚRNICE TEČEN PARABOLICKÝCH OBLÓUKŮ
pro $\alpha < 63,43^\circ$ je bezpečná klenba s vodorovnými sparami

PARABOLICKÝ OBLÓUK

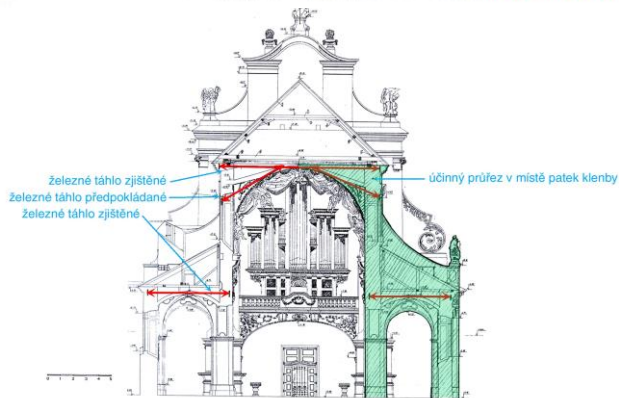


MYKÉNY
PŘEČNĚLKOVÉ KLENBY

PřečnĚlkovou klenbu ve sklonu gotického trojúhelníku je možno stavět bez podepření (vodorovná reakce je v rovnováze s třením)

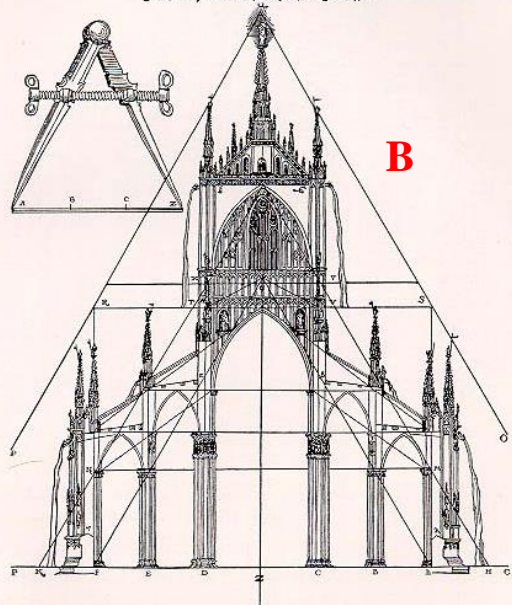


Gotický trojúhelník a opěrný systém



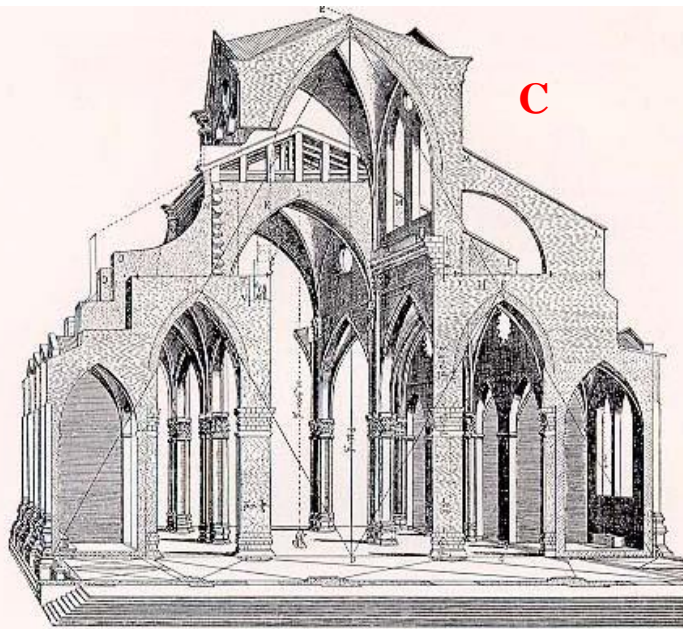
OPĚRNÝ SYSTÉM A TÁHLA KLÁŠTERNÍHO KOSTELA V OSEKU

1e Das Erste Buch Vierunß
 Künstliche auffreiffung der Orthographi oder auffzeichens des obgelegten Grundes
 oder Technographi/ nach dem Teutschen Steinmeyeren Grund des Cristian:
 gels/ mit sonderlichem fleiß abgemessen.

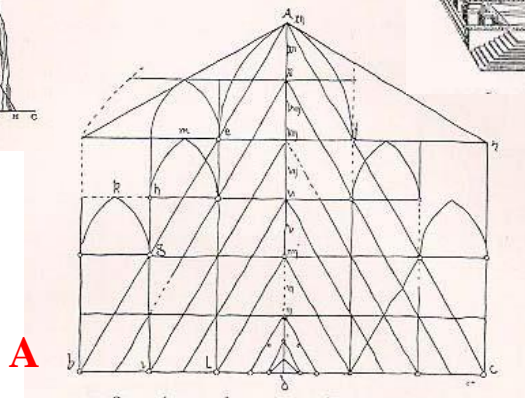


Triangulace milánské katedrály
 1321 **A**; 1540 **B**

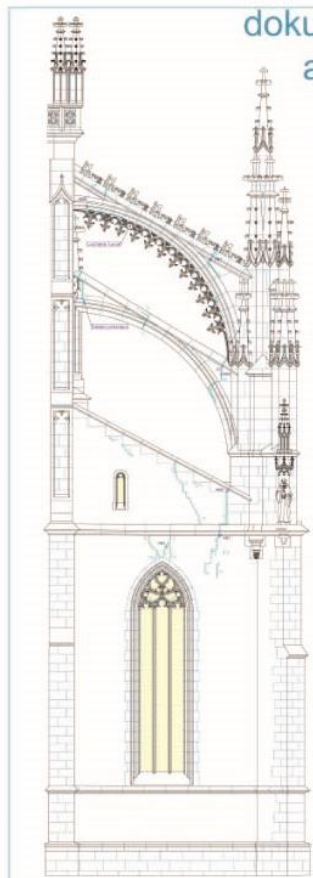
Kompoziční princip – Triangulace



Rozšíření kostela sv. Petronia v Bologni
 pomocí triangulace r. 1591 **C**

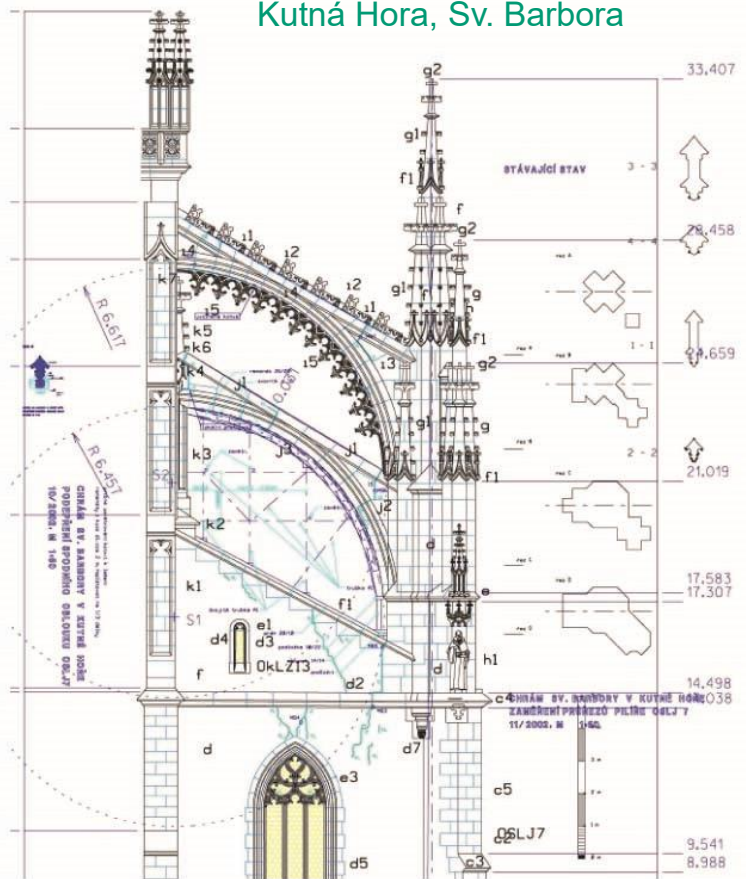


dokumentace trhlin
analýza poruch



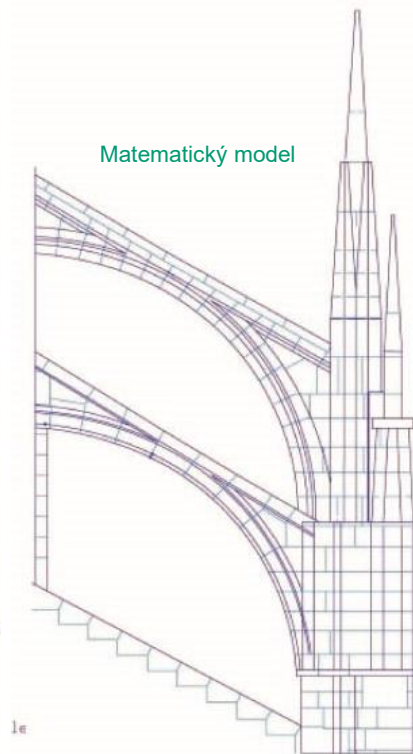
deformace
otevřené spáry, trhliny
kámen porušený soustředěným
tlakem a smykem

Kutná Hora, Sv. Barbora



Statický výpočet – zatížení teplotou

Matematický model



CHRÁM SV. BARBORY V KUTNÉ HOŘE
 STATICKÝ MODEL OBLI 7
 11/2002, M 1:60



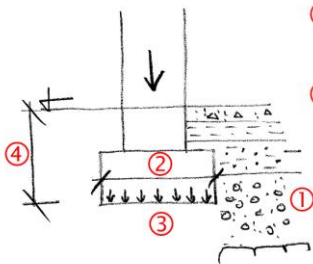


V důsledku degradace zdiva západní zdi povolily závlače táhel a vodorovná reakce klenby prolomila klenební pasy a vyklonila dvorní zeď.

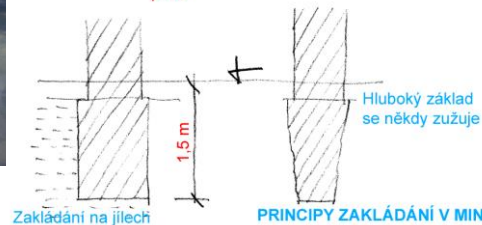
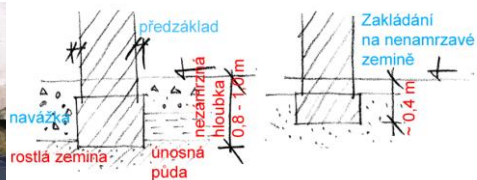


U plochých segmentových kleneb je součástí nosné konstrukce zazděné táhlo

- ① zakládání na únosné zemině
- ② výpočet šířky základu podle únosnosti zeminy
- ③ výpočet sedání – rozšíření základu – zlepšení základové pudy (šterk, polštář)
- ④ ochrana základové spáry – 0,8 až 1,0 m – 1,6 m na jilech

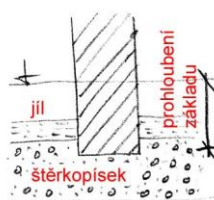


SOUČASNÉ PRINCIPY NÁVRHU ZÁKLADŮ

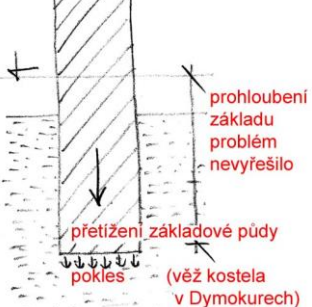


PRINCIPY ZAKLÁDÁNÍ V MINULOSTI

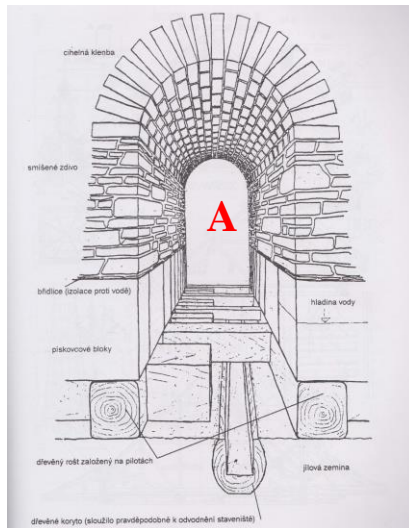
Čtvrtohorní říční náplvy



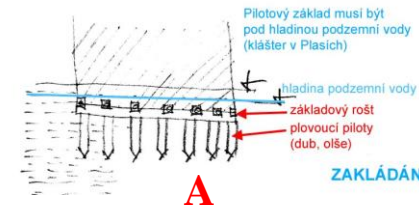
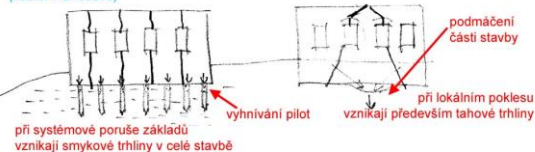
Druhohorní jily o velké mocnosti



ZAKLÁDÁNÍ NA NEÚNOSNÉ PŮDĚ



Pilotový základ v suchých jilech (kostel v Chodově)



ZAKLÁDÁNÍ NA PILOTÁCH

Základ z lomového zdiva



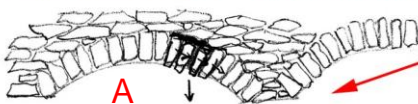
při lokálním poklesu základ ztrácí únosnost, převažují tahové trhliny

Klasové zdivo – opus spicatum (římské, románské stavby)



při lokálním poklesu se zatížení přenáší tlakem do stran, převažují smykové trhliny

Klenuté základové pasy



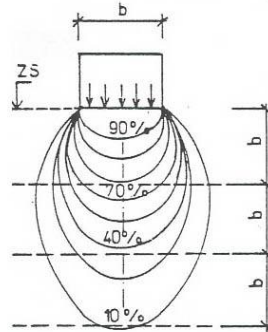
A

ZAKLÁDÁNÍ NA NEÚNOSNÉ PŮDĚ



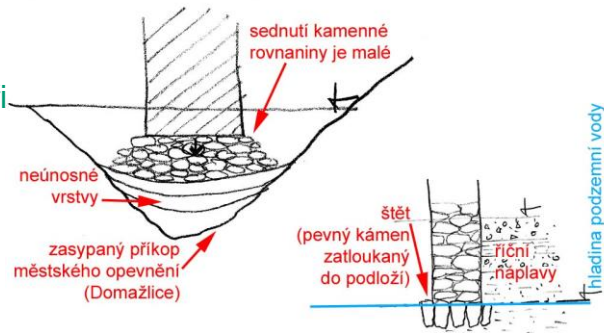
A

Princip zakládání na šterkovém polštáři



Průběh izobar

Zakládání na kamenné rovinanině



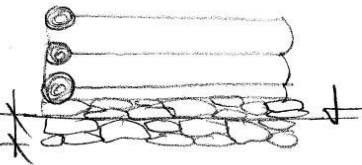
Založení na štětovém podkladu (kostel v Lenešicích)

ZAKLÁDÁNÍ NA NEÚNOSNÉ PŮDĚ



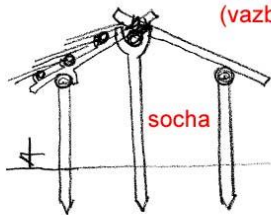
Některé historické způsoby zakládání

mělký základ

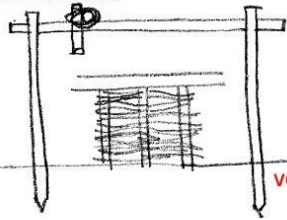


Roubené stavby

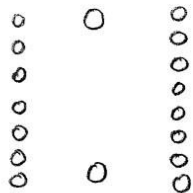
svazování konstrukce (vazba)



socha

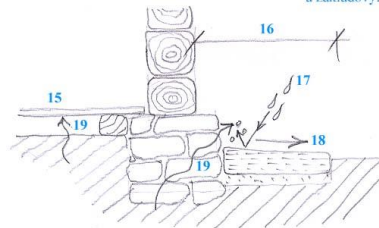


vetknutí do země



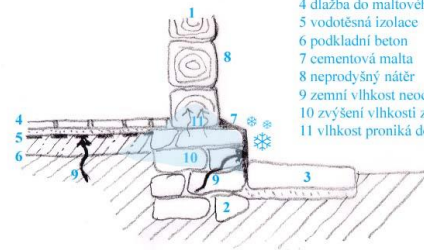
kůlové jamky

PŮVODNÍ STAV



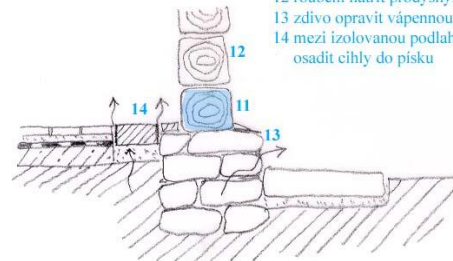
- 15 dřevěná podlaha na polštářích
- 16 přesah střechy chrání roubení
- 17 dešťová voda neodstříkuje na roubení
- 18 srážková voda odtéká od objektu
- 19 zemní vlhkost odvětrává do interiéru a základovým zdívem

NEVHODNÁ ÚPRAVA



- 1 roubení
- 2 podezdívka
- 3 kamenné zápraží do písku
- 4 dlažba do maltového lože
- 5 vodotěsná izolace
- 6 podkladní beton
- 7 cementová malta
- 8 neprodyšný nátěr
- 9 zemní vlhkost neodvětrává
- 10 zvýšení vlhkosti zdiva
- 11 vlhkost proniká do dřeva - hniloba

MOŽNÝ ZPŮSOB OPRAVY



- 11 vyměnit napadené dřevo
- 12 roubení natřít prodyšným nátěrem
- 13 zdivo opravit vápennou nastavenou maltou
- 14 mezi izolovanou podlahu a roubení osadit cihly do písku

ZÁKLADY DŘEVĚNÝCH STAVEB

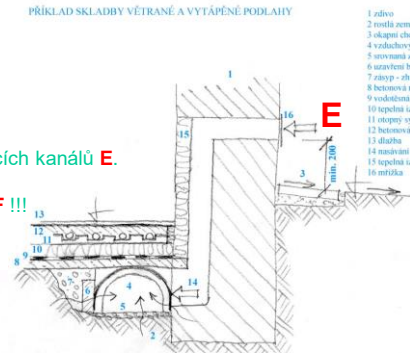
Dodatečné izolace

Rizika **vnějších** kanálů a „drenáží“:
zatékání **A**, podmrzáení a podmáčení základů **B**,
promočení zeminy **C**
(zvláště nebezpečné v jílovitých zemínách **D**).

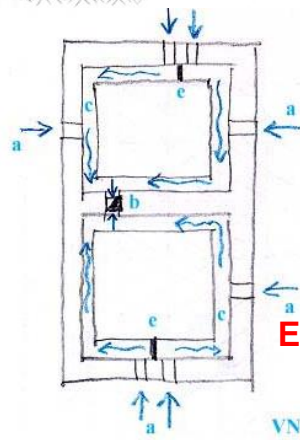
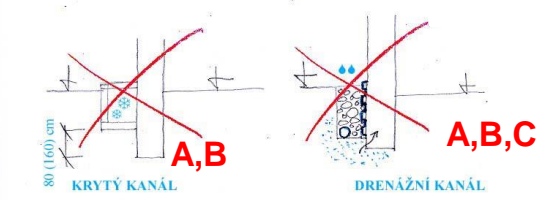
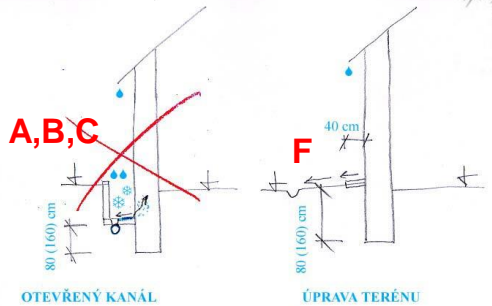
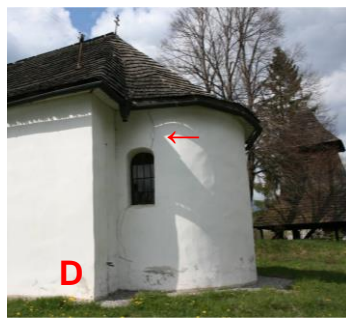
Konstrukce a podmínky účinnosti **vnitřních** větracích kanálků **E**.

Vždy je nutné **odvodnění terénu** při patě stavby **F** !!!

PŘÍKLAD SKLADBY VĚTRANÉ A VYTÁPĚNÉ PODLAHY



- 1 zdivo
- 2 roztla zemí
- 3 okapní chla
- 4 vzduchový
- 5 srovnání n
- 6 uzavřená h
- 7 zářsy - oha
- 8 betonová n
- 9 vlnodotona
- 10 krepčlá ž
- 11 otápejí sy
- 12 betonová
- 13 dlažba
- 14 navrhání
- 15 spádová ž
- 16 mířka



- a nasávání - f_i cm²
- b výdech - F cm²
- c větrací kanálky - F cm²
- d směr proudění vzduchu
- e přepážka v kanálku
- f visutá podlaha
- g zdivo špatně vysychá

$$\min. F = 400 \text{ cm}^2$$

$$F = < \sum f_i$$

VNITŘNÍ VĚTRACÍ KANÁLKU



konzistence kašovitá



konzistence tuhá



KONZISTENCE
zeminy závisí
na obsahu **vody**

konzistence
měkká

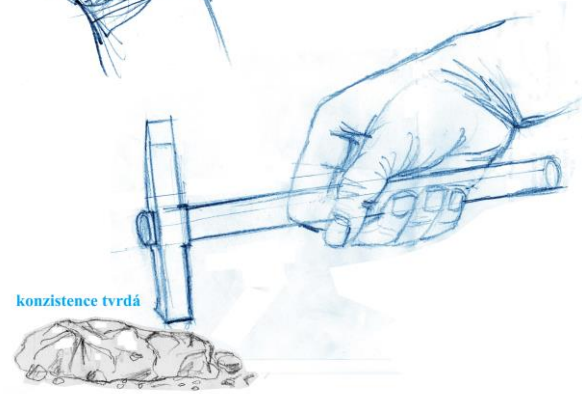


PLASTICITA
zeminy závisí
na obsahu
jemnozrnných částí

konzistence pevná



konzistence tvrdá

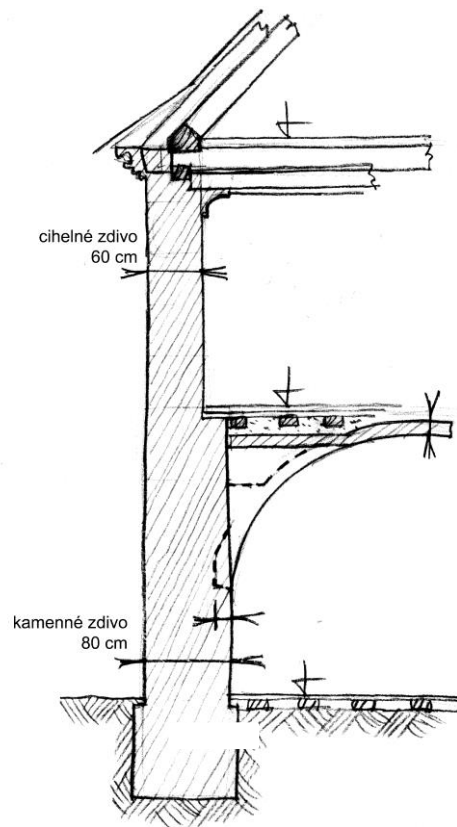


Změna mechanických vlastností jílovitých zemín při promočení

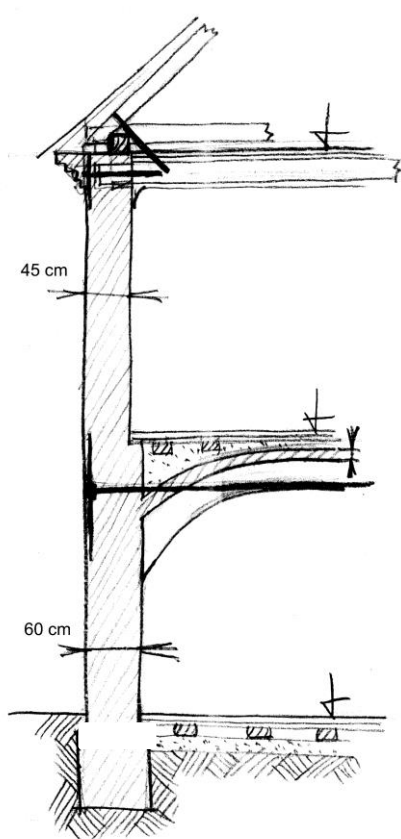


Vlivem vlhkosti uzavřené pod neprodyšným povrchem dochází k degradaci omítek a zdiva. Kapalnou vlhkost v historických materiálech, které jsou pórzní, zdržují **kapilární síly A**. Pro odvětrání vlhkosti z povrchu materiálu je nutná změna v páru, tedy dodání **skupenského tepla**. Voda v **pórovinném** džbánu se v horkém podnebí ochlazuje odpařováním – dokládají to výkvěty solí na vnějším povrchu (mešita v Erbilu) **B**.

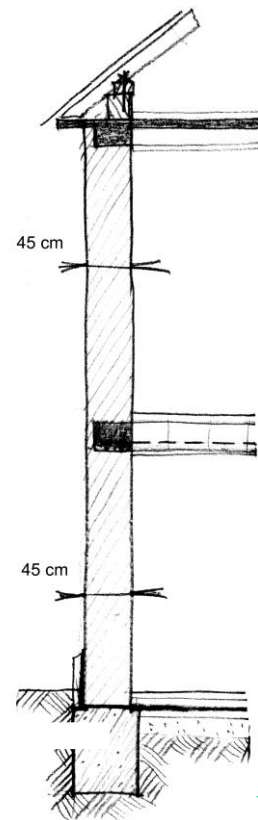
Destruční vliv vlhkosti



08/str.32-1 Tuhost stavby z 18. století



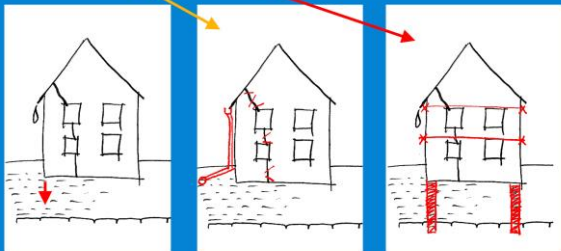
08/str.32-2 Tuhost stavby z 19. století



08/str.32-3 Tuhost stavby ze 20. století

Tuhost
historických staveb

CO JE »MĚKKÉ« A »TVRDÉ« ŘEŠENÍ ?



Odvodnění,
oprava trhlin

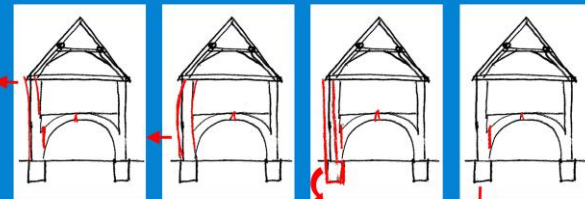
Ztužení stavby,
podchycení



Závady v
odvodnění jsou
často závažnější
než závady
statické



KDY MŮŽEME UPLATNIT »MĚKKÉ« ŘEŠENÍ ?



výklon stěny

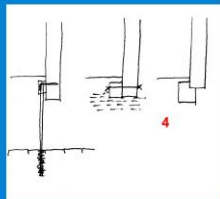
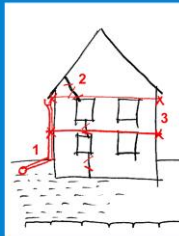
vyboulení

pootočení

pokles

Někdy se různé příčiny projevují podobným způsobem
Často více příčin působí současně

JAKÉ JSOU MOŽNOSTI MĚKKÉHO ŘEŠENÍ ?



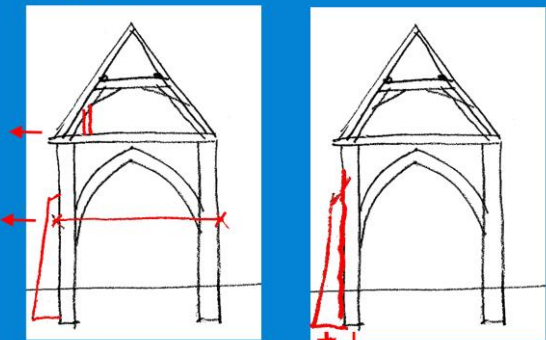
1. odvodnění stavby – vždy
2. oprava trhlin – vždy
3. zvýšení tuhosti (táhla, věnce) – pokud stavba není stabilizována
4. rozšíření nebo podchycení základů (teprve od 19. století) – pokud stavba není stabilizována



Geotechnické problémy – zakládání

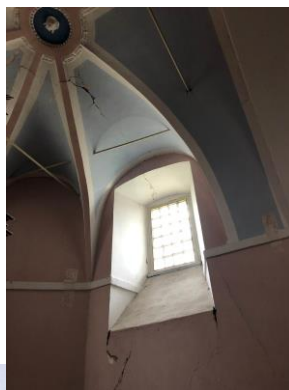


JAK SE ŘEŠILY GEOTECHNICKÉ (A STATICKÉ) PROBLÉMY
V MINULOSTI ?



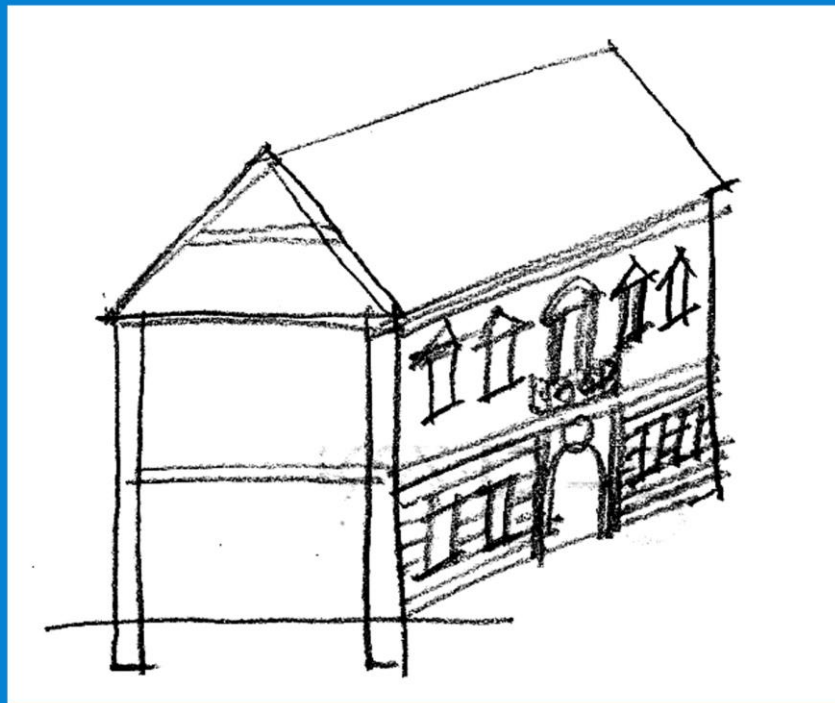
Vždy měkkým způsobem
(ztužení táhly, opěráky)

Ne vždy úspěšné
(opěrák základovou spáru přitížil)



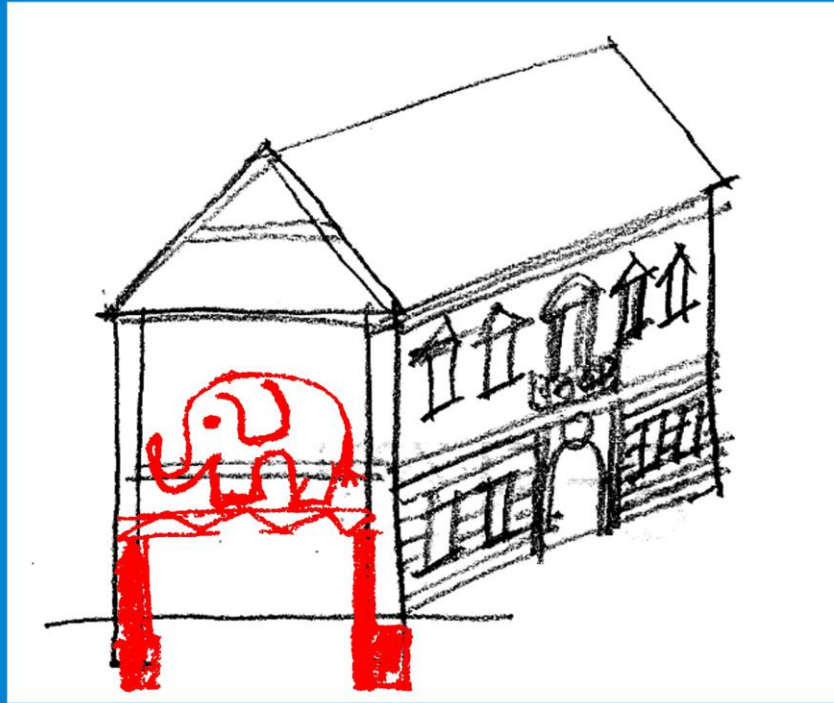
Opakovaně neúspěšné řešení
(opěráky, táhla),
odvodnění ale nebylo provedeno

KDY JSOU NEZBYTNÁ TVRDÁ ŘEŠENÍ ?



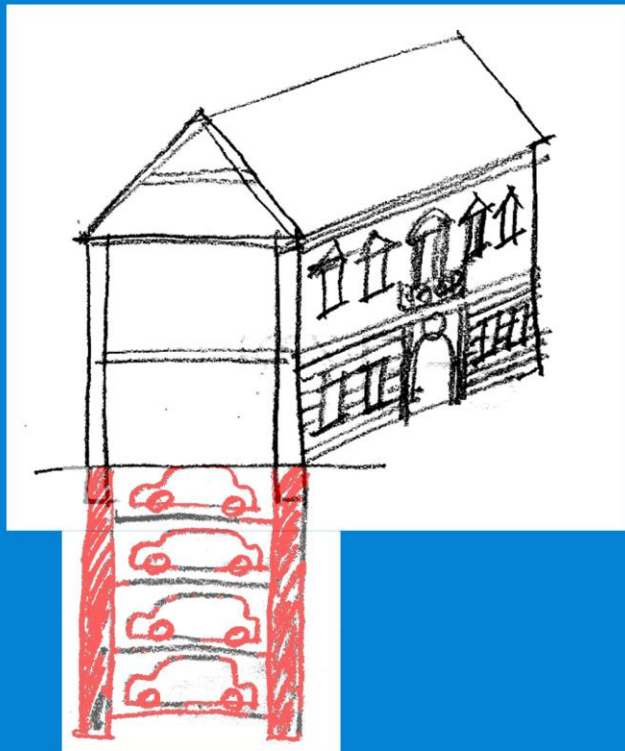
Zpravidla ne tehdy, když má objekt geotechnické problémy, ale když ...

KDY JSOU NEZBYTNÁ TVRDÁ ŘEŠENÍ ?



...když zvyšujeme zatížení

KDY JSOU NEZBYTNÁ TVRDÁ ŘEŠENÍ ?



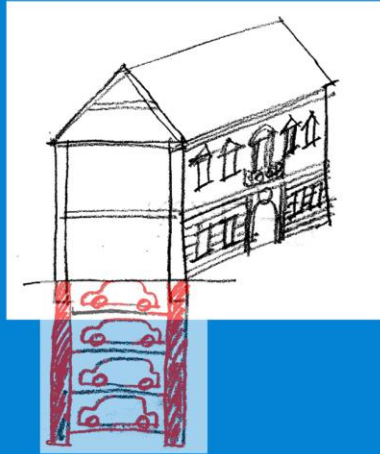
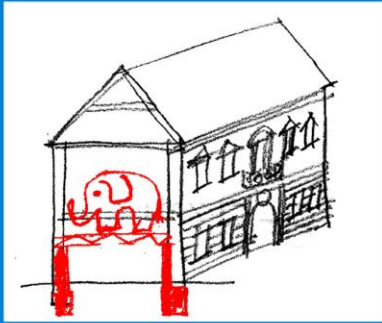
...když zřizujeme podzemní prostory

KDY JSOU NEZBYTNÁ TVRDÁ ŘEŠENÍ ?



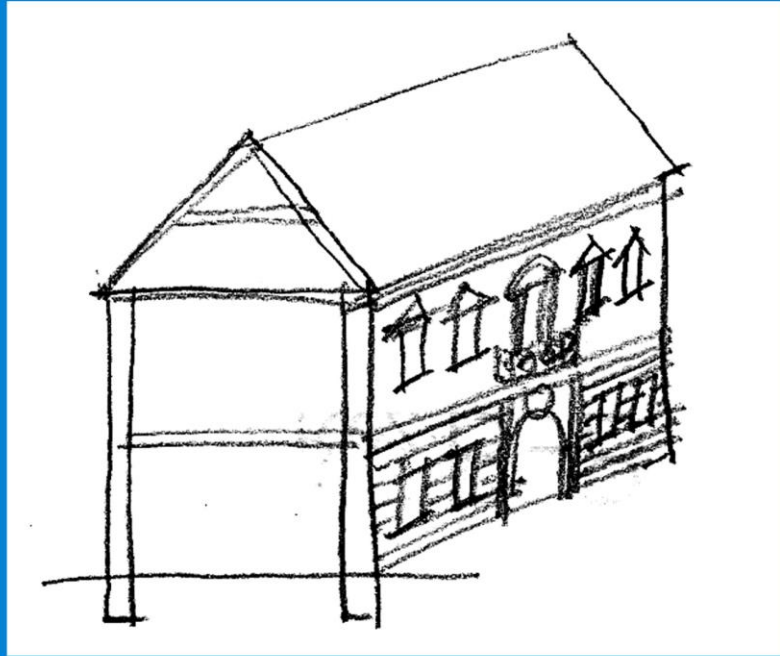
...když dům rozšiřujeme
a zcela přestavujeme

KDY JSOU NEZBYTNÁ TVRDÁ ŘEŠENÍ ?



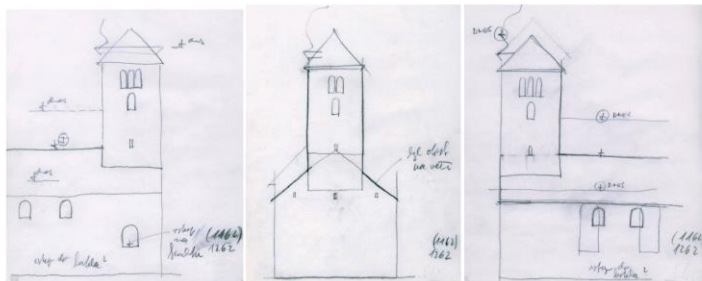
Problémem je tedy využití historického objektu ?

KDY JSOU ~~NEZBYTNÁ~~ TVRDÁ ŘEŠENÍ ?



zneužití
Problémem je ~~využití~~ historického objektu

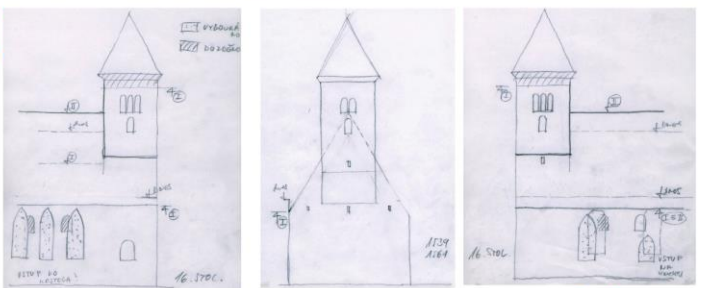
románský
kostel



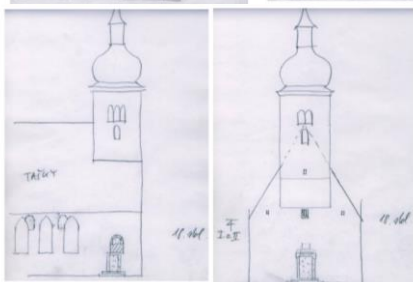
stav před
zřícením



gotický
kostel



barokní
kostel



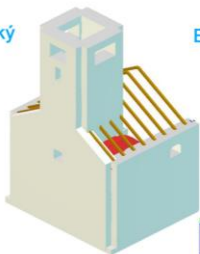
STAVEBNÍ VÝVOJ 1

Využití matematického
modelování – Lenešice
kostel sv. Šimona a Judy

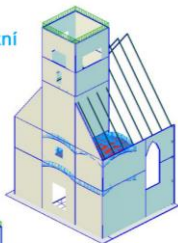


3. července 2008

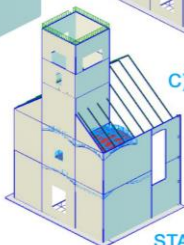
A) románský



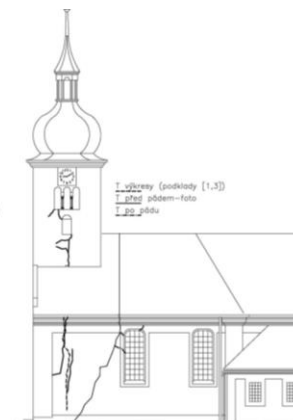
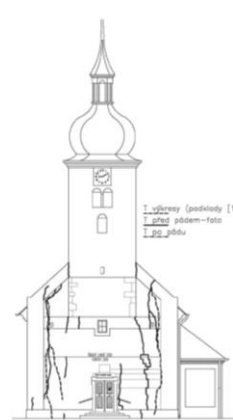
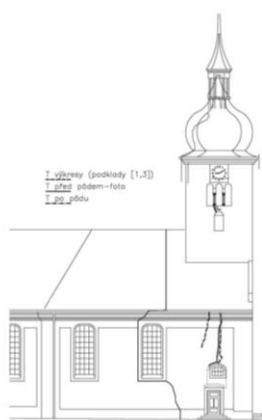
B) barokní



C) před zřícením

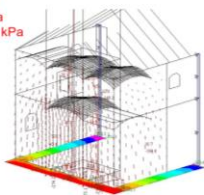


fotodokumentace
statické průzkumy
archivní rešerše
stav. historický průzkum
průzkum zdiva



A) románský

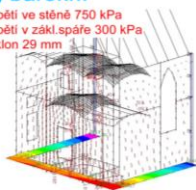
napětí ve stěně 380 kPa
napětí v zákl.spáře 280 kPa
výklon 0



STATICKÉ MODELY

B) barokní

napětí ve stěně 750 kPa
napětí v zákl.spáře 300 kPa
výklon 29 mm



1) překročení pevnosti zdiva

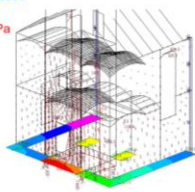
fádkové hrubé z pevné opuky na vápennou maltu 2 000 kPa
lomové z dekalicifikované opuky 400 kPa
A) románský 380 kPa
B) barokní 750 kPa
C) před zřícením 980 kPa

2) překročení únosnosti zákl. půdy

jilovitá zemina měkké konzistence 100 kPa
zlepšení založením na čedičových kamenech 200 kPa
A) románský 280 kPa
B) barokní 300 kPa
C) před zřícením 345 kPa

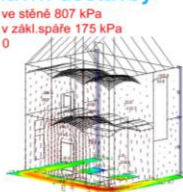
C) před zřícením

napětí ve stěně 980 kPa
napětí v zákl.spáře 345 kPa
výklon 30 mm



D) návrh dostavby

napětí ve stěně 807 kPa
napětí v zákl.spáře 175 kPa
výklon 0



3) k tomu došlo v důsledku

oslabení zdiva prolomením západního vstupu,
současného napětí do oslabených míst,
které vyvolalo vznik trhlin
a postupné zhoršování stavu

Havarijní stav lodi byl odstraněn v roce 1800, kdy byla loď podstatně přestavěna,
věž byla opravena jen částečně.
Pozdější opravy byly opět jen dílčí, zdivo západního štítu pod kvádrovým nárožím věže,
kde zřejmě došlo k vyčerpání únosnosti, opravováno nebylo.



Děkuji za pozornost
jan@vinar.name