

# **Helikální výztuž**

**funkce a použití**

autor a kol.



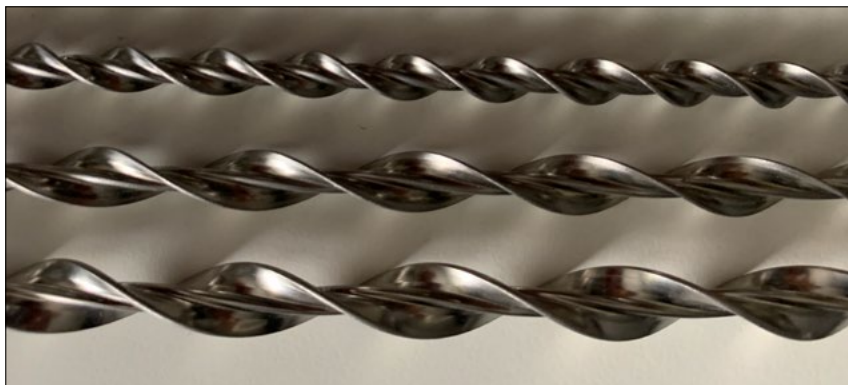
# Obsah

<b>1. Helikální výztuž - funkce a použití</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Natažení dílu a změna šíře trhliny - výměr helicální výztuže při vynuceném namáhání</b> .....	<b>11</b>
2.1 Důkaz vypočítané hodnoty šířky trhliny na čas po opravě.....	11
2.2 Důkaz spolehlivosti proti obnovené tvorbě trhlin.....	21
2.3 Jednostranné umístění helicální výztuže.....	22
2.4 Tipy k volbě „přípustné“ hodnoty šíře trhliny při obnoveném otevírání trhliny po opravě.....	25
2.5 Poznámky k přesnosti výpočtů.....	26
<b>3. Účinky a jejich časové působení, optimální doba opravy</b> .....	<b>29</b>
3.1 Všeobecné.....	29
3.2 Prodloužení skrz změny teplot.....	31
3.3 Vyměřená hodnota zvyšování teploty.....	36
3.4 Nejvhodnější doba opravy.....	37
3.5 Natahování díky působení tíhy?.....	39
<b>4. Spojení mezi helicální výztuží a zdívem helicální maltou</b> .....	<b>43</b>
4.1 Všeobecné informace ke spojování.....	73
4.2 Spojení mezi zdívem a helicální maltou (vnější spojení).....	44
4.3 Spojení mezi helicální maltou a helicální výztuží (vnitřní spojení).....	46
4.4 Které spojení je určující/směrodatné?.....	50
<b>5. Ukazatele pro vyměření</b> .....	<b>53</b>
5.1 Všeobecné.....	53
5.2 Hodnota pro modul elasticity helicální výztuže.....	53
5.3 Hodnoty pro modul elasticity tahu zdiva $E_w$ .....	54
5.4 Natahování/prasknutí zdiva v závislosti na směru trhliny paralelně nebo kolmo k spárám.....	62
5.5 Ukazatele pro určení délky natažení $L$ .....	62
<b>6. Pravidla konstrukce</b> .....	<b>65</b>
6.1 Všeobecné.....	65
6.2 Směr polohy helicální výztuže pokud možno ve směru napínaví síle.....	66
6.3 Hloubka štěrbiny pro helicální výztuž.....	69
6.4 Délka ukotvení.....	74
6.5 Spáry.....	77
6.6 Největší a nejmenší rozestup mezi helicálními výztužemi.....	78
6.7 Jednotlivá trhlina a skupina trhlin.....	79
<b>7. Příklady vyměřování</b> .....	<b>85</b>
7.1 Jedna trhlina v cihlové zdi.....	85
7.2 Jedna trhlina ve štitové zdi staré industriální haly.....	88
7.3 Skupina trhlin.....	91



# 1. Helikální výztuž - funkce a použití

Helikální výztuže patří podle DIN EN 845-1 k doplňujícím stavebním dílům pro zdivo, které slouží k spojení stavebních dílů ze zdiva mezi sebou a ke spojení zdiva s jinými stavebními prvky a budovami. Skládají se z ušlechtilé ocele (austenitické, ne nerezavějící oceli) a jsou nabízeny ve třech jmenovitých průměrech (Obr. 1).



Obr. 1 Helikální výztuž ve jmenovitých průměrech 10, 8 a 6 mm

Jejich použití k opravě roztrhlého zdiva je předmětem této knihy. Myšlenka přemostit trhliny ve zdivu prostřednictvím výztuže a zafixovat tak okraje trhliny je nasnadě. Běžné vyztužení v železobetonu podle DIN 488 je pro toto nevhodné, protože by muselo být ve zdivu chráněno proti korozi a pod vlivem roztahování tlakem vznikají významné tažné ocelové síly. Ve zdivu nemají ocelové vložky žádnou dostačující pasivní ochranu proti korozi, takže zde přicházejí v potaz pouze některé zvláštní druhy oceli. K těm patří právě helikální výztuž z ušlechtilé oceli.



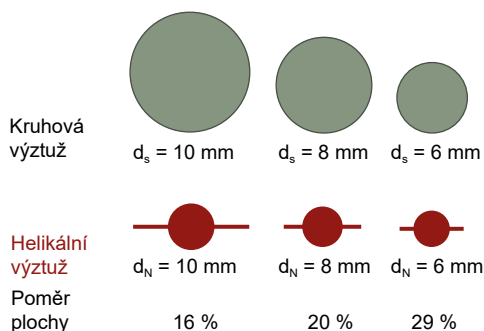
Obr. 1 Helikální výztuž ve jmenovitých průměrech 10, 8 a 6 mm

Na *obrázku 2* jsou ukázány některé příklady, jak může být helikální výztuž použita k zafixování trhlin ve vnějších stěnách. Ve všech případech jsou plochy po opravě opět připraveny jako pohledové plochy.

Využití helikálních výztuží k zafixování okrajů trhliny není regulováno normami. Dosavadní úspěšné aplikace byly plánovány a realizovány v souladu se známými technickými pravidly zděných a železobetonových staveb a dle doporučení výrobce. Systematická vyměřovací metodika ještě neexistuje. V této knize se pokusíme získat podklady pro vyměřování helikálních výztuží jako zpevnění omezující zvětšování trhlin ve stávajícím zdivu.

Helikální výztuž se odlišuje od ocelové výztuže v betonu

- skrze její formu (*Obr. 1*). Není okolo a má ve srovnání s průřezovou plochou větší povrch než železobetonová výztuž; její spirálovitý tvar podmiňuje poněkud jiné, tužší spojovací chování než výztužová tyč
- skrze její minimální průřezovou plochu. Obnáší při stejném průměru výztuže případně jmenovitěm průměru helikální výztuže pouze 16 až 29% (*Obr. 3*).
- skrze její nasazení ke spojování již dříve vzniklých trhlin ve stávajících budovách. Funkce minimální výztuže v železobetonové stavbě, se kterou má být zamezeno křehkému lomu při tvorbě trhliny, odpadá. Jinak by byly minimální průřezové plochy bezúčelné.



*Obr. 3: Srovnání průřezových ploch tyčí s průměrem 6, 8 a 10 mm s helikální výztuží stejných průměrů.*

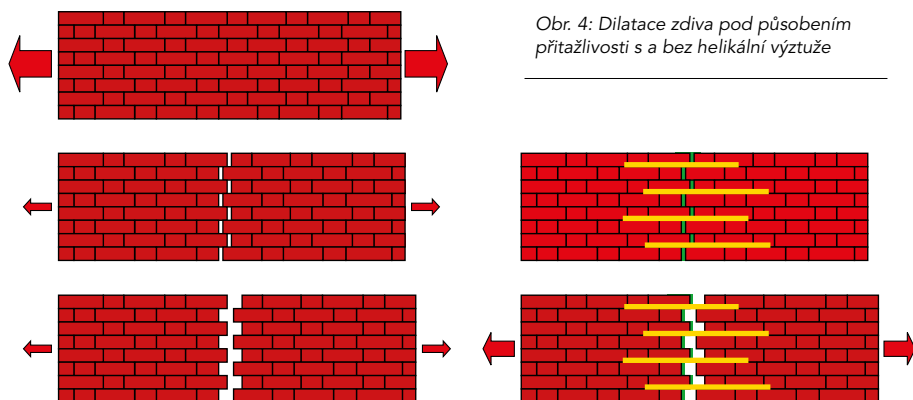


Helikální výztuže jsou jako vyztužení ve smyslu železobetonu nevhodné. Mají přednosti při vyztužování trhlin při vynuceném deformaci.

## Co se změní při aplikaci helikální výztuže přes jednu nebo více trhlin ve venkovní zdi?

Stabilita budovy nebo konstrukční části se aplikací helikálních výztuží nezmění. Ta konstrukční část byla v porušeném/roztrženém stavu v rovnováze a bude také po opravě helikální výztuží.

Na *obrázku 4* je vlevo normální, nevyztužené zdivo před a po tvorbě trhliny. Po dosažení zatížení při vzniku trhlin (velká šipka vlevo nahoře) se vytvoří trhlina kolmo k zatížení/přitažlivosti. Potom je již pro další otevření trhliny potřebná pouze nepatrná síla, aby např. překonaly povrchový odpor. Na *obrázku 4* vpravo je vidět ta stejná trhlina po aplikaci helikální výztuže. Pakliže působí přitažlivost kolmo k okrajům trhliny, zprostředkují helikální výztuže odpor. Zatížení může dosáhnout určité velikosti, dříve než se zafixovaná trhlina zase může otevřít. Přitažlivost je zpravidla menší než zatížení při vzniku trhlin neporušeného zdiva.



Obr. 4: Dilatace zdiva pod působením přitažlivosti s a bez helikální výztuže

Při namáhání zdiva ohýbáním vzniká také trhlina. Zahnuté trhliny, které vznikají např. v železobetonu pouze na jedné straně stavební části a uvnitř stavební části končí v nulové linii, potřebují také po tvorbě trhliny tahovou zónu - v železobetonu danou vyztužením. V nevyztuženém zdivu vzniká dělicí trhlina, díky dle tvorbě trhliny již neexistující tahové zóně. Existovat mohou výjimky u tlustého zdiva a velmi minimálním namáháním ohýbáním.

Trhliny zdiva způsobené přitažlivostí jsou dělicí trhliny.



## Proč vlastně vzniká tažná síla/přitažlivost ve zdivu?

Zdivo má oproti své odolnosti proti tlaku pouze nepatrnou pevnost v tahu (10 až 20%). Plánující inženýr se proto svou konstrukcí snaží pokud možno zamezit napínací síle ve zdivu a využít pouze odolnost tlaku pro odstranění zatížení. Přesto se vyskytují ve zděných stavbách trhliny, které mohou vzniknout pouze skrz napětí v tahu v kapacitě pevnosti tahu. Jejich příčina není většinou zatížení, ale tzv. pnutí nebo působení tlaku.

Tlak vzniká ze změn formy podmíněných stavební hmotou (zkracování, teplotou podmíněně změny délky) a skrz nerovnoměrné sednutí. Dojde-li k takovýmto změnám formy, např. Díky pevnému/tuhému spojení stavebních dílů z různých stavebních látek, pak mohou vznikat velmi značné síly, skrz které je dosaženo míry zatížení způsobující potrhání. Následkem je trhlina. Síly vznikající díky zamezené deformaci označujeme na rozdíl k těm silám ze zatížení jako podružné síly. Vynucenému namáhání jde sotva zamezit. Tyto síly ale mohou být ovlivněny a v jistých hranicích i redukovány. Síly rozhodující pro tvoření trhlin vznikají při zamezení zkracování konstrukční částí, tedy při teplotou ovlivněných zkracováních. Při zahřívání konstrukčních částí vznikají díky změnám tlakové síly. Ty jsou díky vyšší pevnosti tlaku zdiva většinou bezvýznamné.

Podružné síly nemohou být odstraněny ani helikální výztuží, ani jinými pomocnými prostředky. Působí nadále i po opravě helikální výztuží. Existují objektivně a nemohou být (bohužel) jen tak odstraněny. Proto mohou například při působení atmosferického teplotního kolísání nadále namáhat spojení přes trhlinu a tím ji znovu otevřít. Musíme ale myslet také na to, že tažné síly helikální výztuže ve zdivu mohou vést k další trhlině.



Podružné síly vznikají, když je zamezeno deformacím nezávislým na zatížení. Působí také po opravě helikální výztuží a musí být tedy při vyměřování helikální výztuže zohledněny!

Když jsou okraje trhliny zafixovány pomocí helikální výztuže a poté se vyskytne opět prodloužení stavebního dílu, potom musí být zajištěno spojení přes trhlinu tak, že umožňuje určité protažení jak helikální výztuže tak v sousedním zdivu. Pouze takto může být kompenzováno neodstranitelné protahování stavebního dílu také po opravě. V opačném případě se helikální výztuž přetrhne, nebo vznikne nová trhlina tam, kde končí helikální výztuž. Helikální výztuž má díky své malé průřezové ploše (na rozdíl od kruhové ocele) velkou natahovací schopnost, což vychází vstříc jejímu úkolu v trhlině





Helikální výztuž není žádná výztuž pro namáhání zátěží. Má splnit dva úkoly:

- zamezení znovuootevření trhliny po její opravě
- zamezení znovuvytvoreání trhliny v blízkosti helikální výztuže

Obě otázky a k tomu náležící odpovědi nejsou zpravidla v souvislosti se stabilitou stavebního dílu. Proto se statistické výpočty pro opravy zdiva a fixace okrajů trhlín vztahují k meznímu stavu vhodnosti použití.

Nezbytná kritéria pro vyměření mezního stavu vhodnosti použití

- pro hodnotu výpočtu šířky trhliny a
- pro zabezpečení proti vzniku nové trhliny

se významně odlišují při opravě potrhaného zdiva oproti novostavbě. Statistický výpočet pro použití helikální výztuže se musí zabývat roztažením materiálu, ne zatížením.

Helikální výztuže bývají užívány také při takových stavebních částech, u kterých již neočekáváme po opravě žádné roztažení materiálu. Helikální výztuže v těchto případech fixují okraje trhlíny a zamezují při nepředvídaném roztahování, např. kvůli otřesům při projíždění velmi těžkých vozidel kolem budovy, novému otevření trhliny.



## 2. Natažení dílu a změna šíře trhliny - výměr helikální výztuže při působení tlaku

### 2.1 Důkaz vypočítané hodnoty šířky trhliny na čas po opravě

Pro případ, že je očekáváno natahování stavebního dílu i po opravě potrhaného zdiva tohoto stavebního dílu, musí být helikální výztuže naměřeny tak, aby předem stanovená hodnota šířky trhliny byla udržena. K tomu je potřebný vztah mezi nuceným roztahováním stavebního dílu a roztahováním komponentů helikální výztuže a nepotrhaného zdiva.

Deformace stavebních dílů a posunutí okrajů trhliny neprobíhají k sobě proporcionálně. Pro oba platí rozdílné zákonitosti. Určující pro vyměření je pouze obnovené otevření trhliny po opravě. K tomu bylo odvozeno vyměřovací schéma, se kterým je definována vyměřená hodnota šířky trhliny pro opravené zdivo analogicky k DIN 1045-1.

V železobetonové stavbě je v DIN 1045-1 obsažena vyměřovací metoda k určení vyměřené hodnoty šířky trhliny, tato metoda je využívána pro ovlivnění trvanlivosti díky ohraničení šířky trhlin (vyměřená hodnota). Ve zděné stavbě, která se převážně obejde bez výztuže, neexistuje kromě několika opatrných přístupů žádná vyměřovací metoda k určení šířky trhlin.

Při opravě potrhaného stavebního dílu helikální výztuží jsou dosavadně nevytlužené zděné stavební díly dodatečně posíleny. Posílením ovšem není znovu obnovena schopnost snést tah jako u nepotrhaného zdiva. To není ani cílem opravy, ani to není nezbytné. **Helikální výztuž má v první linii zafixovat okraje trhliny** a v případě potřeby umožnit **nepatrné, kontrolované otevření trhliny**. Případ potřeby nastává tehdy, jestliže i po opravě působí roztahování stavebních dílů, např. jako následek změn teplot. Principiálně platí, že nucenému protahování stavebních dílů nemůže být zabráněno. Musí se konstruktivně předvídat možnosti, které nucené protahování rozdělují a anebo ho dovolí na nějakém neškodném místě. Ve zděné budově jsou to buď nové trhliny, posunutí okrajů trhlin nebo protahování zdiva ve spojení s protahováním vložené helikální výztuže.

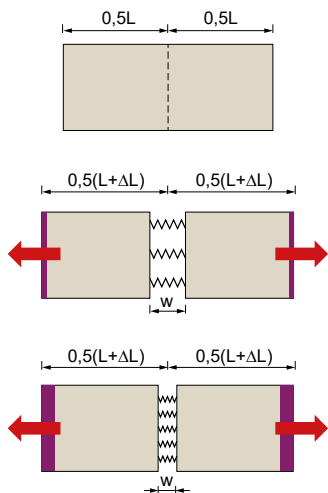
Trhlina zůstává také po opravě slabým místem stavby.  
Deformace mohou trhlinu obnovit i po opravě, ale otevřou ji v menší šířce.



Na rozdíl od železobetonové stavby se u zdva trhliny vyskytují již **před** vložením helikální výztuže. Díky tomu neplní helikální výztuže **žádnou funkci jako minimální vyztužení** k zabránění křehkého lomu při selhání pevnosti v tahu zdva. Můžeme vyjít z toho, že vyplněná trhlina prakticky nemůže přenášet žádné tažné síly. Tím taky již po opravě neexistuje žádné zatížení při vzniku trhlin. Teprve ve spojení s helikální výztuží mohou být aktivovány přes trhlinu tažné síly, které omezí a ohraničí obnovené otevření trhliny.

Helikální výztuž instalovaná přes trhlinu leží zpočátku v plném spojení se zdívem. Roztáhne-li se ten opravovaný stavební díl znovu (např. kvůli ochlazení), potom tomu bude zabráněno prostřednictvím helikální výztuže. V helikální výztuži vznikají tažné síly, při čem se musí natahovat. Velikost tohoto natažení může být ovlivněno množstvím vložených helikálních výztuží. Kompenzovali jsme tedy natažení, které je proporcionální ocelovému napětí. To znamená, že více helikálních výztuží obdrží stejné natažení/tažnost a stejné napětí. Pouze tažná síla (ocelové napětí násobené plochou ocele), která je vedena do okolního zdva, stoupá. Čím více helikálních výztuží pro běžný metr bude instalováno (jmenovitý průměr a vzdálenost), tím větší bude namáhání tahem ve zdívu a nebezpečí nového tvoření trhlin. Na Obr. 5 je modelově představena souhra kotvy se zdívem při vynuceném namáhání.

Tento příklad je výchozím bodem návrhové metody. Tím se získá na jednu stranu přiměřené natahování helikální výztuže tak jako hodnota výpočtu šířky trhliny a na druhou stranu podíl natahování zdva tím také vyjádření, zda může být znovu dosaženo zatížení při vzniku trhlin zdva.



Vrchní náčrtek na Obr. 5 ukazuje trhlinu zafixovanou helikální výztuží v ještě nenamáhaném stavu těsně po opravě. Helikální výztuž je nezatížena. U obou středních a spodního náčrtku působí nucené natahování po opravě, skrz které je u helikální výztuže a ve zdívu iniciováno vynucené namáhání.

Obr. 5: Pružinový model působení helikální výztuže při obnoveném nuceném natahování po opravě, pružiny představují helikální výztuže, fialová místa na obou koncích podíl natahování zdva.

Toto natahování je zachyceno oběma zúčastněnými komponenty – zdívo a helikální výztuž – podle jejich tuhosti. Suma obou natahování je shodná natahování stavebního dílu. Na obrázku je znázorněno rozdílné natahování zdva fialovým odstínem.

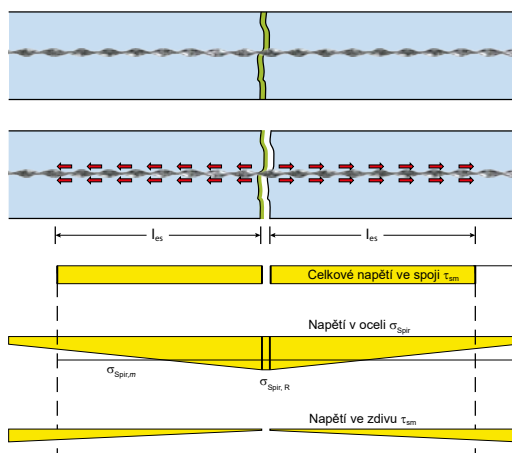
Dimenzováním helikální výztuže (počet pro metr a jmenovitý průměr) může být proměřován vztah tuhosti helikální výztuže a zdiva. Na středním náčrtku jsou helikální výztuže díky malému počtu relativně měkké. Proto musí zdivo vykonat jen malý přínos k celkovému natahování, než u spodního náčrtku. Tam jsou helikální výztuže díky jejich většímu počtu tužší. Musí se méně natahovat než ty ve středním náčrtku a natahování zdiva zůstává menší. Větší natahování helikální výztuže znamená také větší obnovené otevírání trhliny.

Zatímco tuhost zdiva je posuzována jako daná velikost, může být tuhost helikální výztuže v určitých mezích obměňována skrz počet pro běžný metr a jmenovitý průměr. To je důležité v hraničních případech, u kterých je dosaženo mezního protažení zdiva po opravě nebo je dokonce překročeno.

Natahování helikální výztuže je viditelné jako přírůstek šíře trhliny na objektu (Obr. 6). Cíl výpočtu musí být omezení případně znovu očekávaného otevření trhliny na přípustnou míru. Aby byl vyvinut použitelný model výpočtu, byly použity a přizpůsobeny přístupy pro železobeton z DIN 1045-1. Formule pro výpočet byly odvozeny nejdůležitější případ pro praktické případy - centrický tah.

Na Obr. 6 je schematicky nakresleno okolí trhliny centricky zatížené části (např. stěna). Po opravě (náčrtek nahoře) jsou okraje trhliny zafixovány.

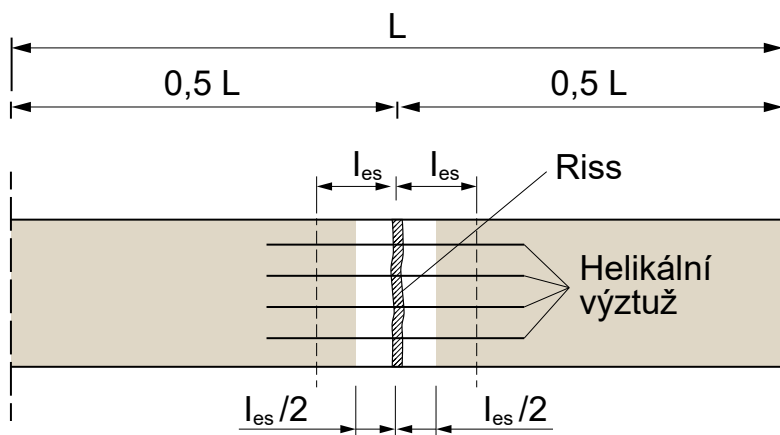
Trhlina se může v tomto stavu otevřít pouze, když je stavební díl znovu natahován. **Přemostění trhliny helikální výztuží přenášející síly je méně tuhé, než zdivo.** Proto je natahování helikální výztuže větší než to ve zdivu. Rozdíl v natahování je umožněn díky **poruše spojení mezi zdivem a helikální výztuží**, které je účinné pouze v jedné délce  $l_{es}$  na obou stranách trhliny. V této oblasti je spojení mezi speciální maltou a helikální vztuží částečně porušeno. Působí zde spojovací napětí,



Obr. 6: Rozložení tahového napětí spojení, oceli a zdiva po obnoveném otevření opravené trhliny (bez měřítka)

které je v obrázku znázorněno červenou šipkou. S přijetím, že spojovací napětí je v počáteční délce konstantní ( $\tau_s = \tau_{sm}$ ), obdržíme lineární průběh napětí v tahu ocele v helikální výztuži o délce  $l_{es}$  a napětí v tahu zdiva (Obr. 6). Kromě počáteční délky se helikální výztuž a zdivo nacházejí ve spojení, to znamená že jejich natahování je stejně velké a stejně směřované. Šířka trhliny se vypočítá z rozdílu délek mezi helikální výztuží a zdívem v počáteční oblasti. Natahování zdiva v počáteční oblasti má stejně jako natahování ocele trojúhelníkové rozložení (stupeň plnosti 0,5). Musí být zohledněno tím, že délka zdiva stavebního dílu bude snížena o právě polovinu počáteční délky (Obr. 7). To je numericky možné při lineárním průběhu napětí v tahu. Pro natahování helikální výztuže je násobeno střední prodlužování ocele  $\epsilon_{spir, m}$  s oběma počátečními délkami po obou stranách trhliny. (modul pružnosti v tahu?)

Pevnost v tahu výplně v opravené trhlíně má být roven nule. To znamená, že se trhlina při opětovném namáhání tahem ihned otevře, bez toho, aby byla překonána pevnost zdiva. Je to užitečný předpoklad, který vychází vstříc realitě na hotovém objektu.



Obr. 7: Délka protažení zdiva je snížena numericky o právě polovinu počáteční délky  $l_{es}$  helikální výztuže.

Výpočetní hodnota šířky trhliny může být určena pouze s předpoklady podle rovnice 1

1

$$W_b = 2 \cdot l_{es} \cdot \epsilon_{\text{Spir},m}$$

$W_b$  - výpočetní hodnota šířky trhliny

$l_{es}$  - počáteční délka vlevo a vpravo od trhliny

$\epsilon_{\text{Spir},m}$  - střední natahování helikální výztuže v počátečním prostoru s délkou  $l_{es}$

Počáteční délka bude odvozena z rovnovážného stavu, takže tažná síla v helikální výztuži musí být shodná se spojovací silou mezi maltou a helikální výztuží.

2

$$\sigma_{\text{Spir},R} \cdot A_{\text{Spir}} = \tau_{sm} \cdot u_i \cdot l_{es}$$

$$l_{es} = \frac{\sigma_{\text{Spir},R} \cdot A_{\text{Spir}}}{\tau_{sm} \cdot u_i} = \frac{\sigma_{\text{Spir},R} \cdot \pi \cdot d_i^2}{\tau_{sm} \cdot 4 \cdot \pi \cdot d_i}$$

$$l_{es} = \frac{\sigma_{\text{Spir},R} \cdot d_i}{\tau_{sm} \cdot 4}$$

$\sigma_{\text{Spir},R}$  - ocelové napětí v trhlíně

$A_{\text{Spir}}$  - průřezová plocha helikální výztuže

$\tau_{sm}$  - střední spojovací napětí mezi maltou a helikální výztuží, s odvoláním na idealizovaný průměr helikální výztuže

$u_i$  - idealizovaný obvod průřezové plochy helikální výztuže

$d_i$  - idealizovaný průměr helikální výztuže podle rovnice 3

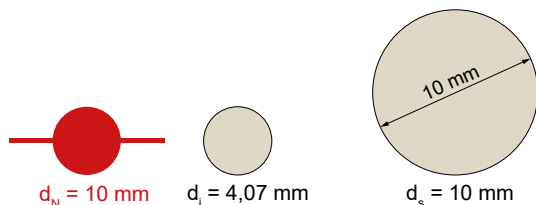
V rovnici pro počáteční délku podle rovnice 2 je ocelové napětí  $\sigma_{\text{Spir},R}$  neznámé, protože natahování helikální výztuže kompenzuje pouze jednu část natahování stavebního dílu. Zdivo může přejmout při protahovací délce více metrů značný natahovací podíl a tím odlehčit helikální výztuži. Je třeba poznamenat, že počáteční délka tažné síly přiváděné do zdiva je závislá a tudíž ne konstantní.

Abychom mohli použít jednodušší předpoklady počítání šířky trhliny podle rovnice 1, je zaveden za helikální výztuž náhradní tyč s kulatým ideálním průměrem, ideální průměr  $d_i$  je vypočítán z průřezové plochy.

3

$$d_i = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_{\text{Spir}}}{\pi}}$$

Obr. 8 ukazuje srovnání velikostí reálného a ideálního průřezu helikální výztuže s jmenovitým průměrem 10 mm. Kulatá tyč s průměrem 10 mm je ke ilustraci namalována hned vedle. Na srovnání velikosti je vidět, že pro namáhání tíhou je mnohem účinnější vyztužení než helikální výztuž.



Obr. 8: Srovnání průřezu helikální výztuže  $d=10$  mm s idealizovaným průměrem  $d=4,07$  mm s vyztužovací tyčí s průměrem  $d=10$  mm

Abychom dostali kvantifikovanou vpvověď o možném otevření trhliny po opravě, potřebujeme dvě hodnoty:

- počáteční délku  $l_{es}$ , ve které existuje porucha spoje mezi zdívem a helikální výztuží a
- střední ocelové napětí v helikální výztuži v počátečním prostoru. To je úměrné měřítku obnoveného otevírání trhliny.

Obě hodnoty na sobě závisí, čímž jsou vzorce nákladnější než v železobetonu ve fázi tvorby jednoduché trhliny. Spojení ocelového napětí  $\sigma_{\text{Spir,R}}$  a počáteční délky  $l_{es}$  je zadáno v rovnici 2. Střední pevnost spojení je k určení pokusem.

Počáteční délka  $l_{es}$  může být vypočítána teprve, když je známé ocelové napětí v helikální výztuži. Závisí na celkové tuhosti opravené stěny a je určena tažností stěny tak jako helikální výztuže. K tomu je využito modelové představení podle obr. 5. Natahování tlakem pro natahovací délku  $L$  v oblasti působnosti trhliny je tvořeno z obou podílů pro zdívo



(průřez) a pro helikální výztuže. Změna délky  $\Delta L$  části zdi s délkou  $L$  (dvě poloviny vzdálenosti trhlín a jedna trhlina *obr. 7*), činí pod natahování tlakem

$$\Delta L = \epsilon_{Zw} \cdot L$$

- $\Delta L$  - změna délky části zdi s délkou  $L$   
 $\epsilon_{Zw}$  - natahování tlakem jako vnější vliv na stěnu  
 $L$  - délka natažení

Změna délky  $\Delta L$  sestává z obou podílů zdiva tak jako helikální výztuže pravoúhle k trhlině. S  $l_{es}$  se označuje počáteční délka, která je pro začátek potřebná pro tažnou sílu helikální výztuže v trhlině a sousedícím zdivu. V této oblasti je předpokládán trojúhelníkový průběh napětí v oceli

4

$$\Delta L = \Delta L_M + \Delta L_{Spir}$$

$$\epsilon_{Zw} \cdot L = \epsilon_M \cdot (L - 2 \cdot l_{es} / 2) + \epsilon_{Spir,m} \cdot 2 \cdot l_{es}$$

$\Delta L$  - změna délky stavebního dílu (zdi) v oblasti vlivu aktuální trhliny

$\Delta L_M$  - podíl změny délky zdiva

$\Delta L_{Spir}$  - podíl změny délky helikální výztuže

$\epsilon_{Zw}$  - vynucené natahování stavebního dílu

$\epsilon_{Spir,m}$  - střední natahování oceli helikální vztuže v počáteční oblasti

$\epsilon_M$  - podíl natahování zdiva

$l_{es}$  - délka tažné síly oceli ve zdivu, vzniká na obou stranách trhliny

Jako účinná natahovací délka budou zmenšeny obě rozteče trhliny vlevo a vpravo od trhliny  $2 \cdot L / 2 = L$  o dvakrát polovinu počáteční délky (*obr. 7*).

Rovnice č. 4 bude vyřešena podle

$$\epsilon_{Spir,m} \text{ bzw. } \epsilon_M$$

Když jsou tyto oba podíly a počáteční délka  $l_{es}$  známé, může být určena díky střednímu natahování oceli hodnota šířky trhliny.

5

$$\epsilon_{Zw} = \epsilon_M \frac{(L - l_{es})}{L} + \epsilon_{Spir,m} \cdot 2 \cdot \frac{l_{es}}{L}$$

$$\epsilon_{Spir,m} = \frac{L}{2 \cdot l_{es}} \cdot \left( \epsilon_{Zw} - \epsilon_M \cdot \frac{L - l_{es}}{L} \right) \text{ bzw.}$$

6

$$\epsilon_{Spir,m} = \frac{1}{2 \cdot l_{es}/L} \cdot [\epsilon_{Zw} - \epsilon_M \cdot (1 - l_{es}/L)]$$

Jako další podmínka je zavedena podmínka rovnováhy **tažná síla oceli v trhlíně = tažná síla zdiva v nepotrhaném celkovém průřezu**. Z toho získáme počáteční délku v závislosti na napětí oceli v helikální výztuži.

7

$$A_{Spir} \cdot \sigma_{Spir,R} = A_M \cdot \sigma_M$$

$$A_{Spir} \cdot \epsilon_{Spir,R} \cdot E_{Spir} = A_M \cdot \epsilon_M \cdot E_M$$

$A_{Spir}$  – průřezová plocha helikální výztuže křížící trhlínu

$\sigma_{Spir,R}$  – napětí oceli v trhlíně (maximální hodnota)

$\epsilon_{Spir,R}$  – natahování ocele v trhlíně (maximální hodnota)

$E_{Spir}$  – modul elasticity helikální výztuže

$A_M$  – průřezová plocha zdiva

$\sigma_M$  – napětí zdiva

$\epsilon_M$  – střední natahování zdiva

$E_M$  – modul elasticity zdiva pro tah ve směru pnutí

Při trojúhelníkovém průběhu spojovacího napětí v počáteční zóně je střední natahování oceli  $\sigma_{Spir,m}$  rovno poloviční hodnotě většího natahování oceli v trhlíně  $\epsilon_{Spir,R}$

8

$$\epsilon_{Spir,R} = 2 \cdot \epsilon_{Spir,m}$$

9

$$A_{\text{Spir}} \cdot 2 \cdot \epsilon_{\text{Spir,m}} \cdot E_{\text{Spir}} = A_M \cdot \epsilon_M \cdot E_M \text{ bzw}$$

$$\epsilon_{\text{Spir}} = 2 \cdot \epsilon_{\text{Spir,m}} \cdot \frac{A_{\text{Spir}} \cdot E_{\text{Spir}}}{A_M \cdot E_M}$$

$$\epsilon_M = 2 \cdot \epsilon_{\text{Spir,m}} \cdot \rho \cdot \alpha_e$$

To se stane z rovnice 7 .

$\rho = A_{\text{Spir}} / A_M$  vztah helikální výztuže průřezové ploch helikální výztuže vztažen na k tomu patřící průřez zdivem, ve kterém působí tažná síla helikální výztuže (např. každý metr výšky zdi)

$\alpha = E_{\text{Spir}} / E_M$  vztah modulů elasticity helikální výztuže a zdiva

Vztahující se natahování pro zdivo tak jako helikální výztuž budou vypočítány z rovnice 9 a rovnice 6 :

10

$$\epsilon_M = \epsilon_{Zw} \cdot \frac{\rho \cdot \alpha_e}{l_{es}/L + \rho \cdot \alpha_e \cdot (1 - l_{es}/L)}$$

11

$$\epsilon_{\text{Spir,m}} = \epsilon_{Zw} \cdot \frac{0,5}{l_{es}/L + \rho \cdot \alpha_e \cdot (1 - l_{es}/L)}$$

Díky rovnici 11 je střední natahování oceli  $\epsilon_{\text{Spir,m}}$  v počáteční oblasti  $l_{es}$  známé. Obsahuje ovšem ještě neznámou počáteční délku  $l_{es}$ , která je závislá na napětí oceli a tím na natahování oceli. Z Obr. 6 je zjevné, že druhá podmínka pro počáteční délku platí a odvozuje se z rovnovážné podmínky mezi přivádějící síle a vyplývající spojovací síle. Je zadána v rovnici 2 :

$$l_{es} = \frac{\sigma_{\text{Spir,R}} \cdot d_i}{\tau_{sm} \cdot 4}$$

s rovnicí 8 z toho tedy vychází

12

$$l_{es} = \frac{2 \cdot \sigma_{Spir,m} \cdot d_i}{4 \cdot \tau_{sm}}$$

$$l_{es} = \frac{\sigma_{Spir,m}}{2 \cdot \tau_{sm}} \cdot d_i \text{ bzw. } l_{es} = \frac{\epsilon_{Spir,m} \cdot E_{Spir}}{2 \cdot \tau_{sm}} \cdot d_i$$

$\sigma_{Spir,R}$  – ocelové napětí v trhlíně

$\sigma_{Spir,m}$  – střední ocelové napětí v počáteční oblasti

$E_{Spir,m}$  – střední ocelové napínání v počáteční oblasti

$\tau_{sm}$  – střední spojovací napětí mezi plochou helikální výtzuže a zdivem

Pro případ tvorby trhliny dosahuje spojovací napětí spojovací pevnosti  $f_{bd}$ . Střední spojovací pevnost  $f_{bd}$  je zavedena jako charakteristická hodnota pro spojovací napětí.

Tím znamená rovnice 12

13

$$l_{es} = \frac{E_{Spir,m} \cdot E_{Spir}}{2 \cdot f_{bd}} \cdot d_i$$

V rovnici 13 je zasazena rovnice 11 u dostaneme tedy:

$$l_{es} = \frac{\epsilon_{Zw} \cdot E_{Spir}}{4 \cdot f_{bd} \cdot (l_{es}/L + \rho \cdot \alpha_e \cdot (1 - l_{es}/L))} \cdot d_i$$

a po některých přeformulováních

$$l_{es}^2 \cdot \left( \frac{\rho \cdot \alpha_e}{(1 - \rho \cdot \alpha_e)} \right) \cdot L \cdot l_{es} - \frac{\epsilon_{Zw} \cdot E_{Spir}}{4 \cdot f_{bd} \cdot (1 - \rho \cdot \alpha_e)} \cdot L \cdot d_i = 0$$

bzw.

$$l_{es} = \frac{\rho \cdot \alpha_e \cdot L}{2 \cdot (1 - \rho \cdot \alpha_e)} + \sqrt{\left( \frac{\rho \cdot \alpha_e \cdot L}{2 \cdot (1 - \rho \cdot \alpha_e)} \right)^2 + \frac{\epsilon_{Zw} \cdot E_{Spir}}{4 \cdot f_{bd} \cdot (1 - \rho \cdot \alpha_e)} \cdot L \cdot d_i}$$

respektive, jako související velikosti

$$14 \quad \frac{l_{es}}{d_i} = \frac{\rho \cdot \alpha_e \cdot L/d_i}{2 \cdot (1 - \rho \cdot \alpha_e)} + \sqrt{\left(\frac{\rho \cdot \alpha_e \cdot L/d_i}{2 \cdot (1 - \rho \cdot \alpha_e)}\right)^2 + \frac{\epsilon_{Zw} \cdot E_{Spir}}{4 \cdot f_{bd} \cdot (1 - \rho \cdot \alpha_e)}} \cdot \frac{L}{d_i}$$

V rovnici 14 jsou na pravé straně všechny veličiny známe. Tím můžeme vypočítat hodnotu šířky trhliny podle rovnice 1 :

$$W_k = \epsilon_{sm} \cdot 2 \cdot l_{es}$$

Formule se zdají poněkud rozsáhlé a byly přepracovány pro snadnější zacházení do formy diagramů. Tyto diagramy jsou sestaveny v pasáži 8.2 pro různé parametrové obměny. S pomocí diagramů je možné určit počet helikálních výztuží pro zvolený jmenovitý průměr a pro určenou hodnotu šířky trhliny.

## 2.2 Důkaz spolehlivosti proti obnovené tvorbě trhlin

Principiálně je možné, aby nucená roztažnost v jedné stěně byla tak velká, že spojení helikální výztuží sice okraje trhliny drží, ale nucené roztahování může vést k nové trhlině mimo oblast helikální výztuže. Abychom tomu zabránili, musí být předložen zvláštní důkaz.

Když natahování zdi  $\epsilon_w$  zůstává menší než natahování popraskání zdiva, může vzniknout nová trhlina. Modelový výpočet přináší s rovnicí 10 vztah k natahování zdi vlivem po opravě očekávaného nuceného pnutí  $\epsilon_{Zw}$ .

Když je známá počáteční délka  $l_{es}$  může se jednoduše vypočítat i natahování zdi. Počáteční délka je nutná i při důkazu hodnoty šířky trhliny a je k dispozici po zavedeném důkazu šířky trhliny pro další výpočty. Z rovnice 10 se vypočítá podíl zaneseného nuceného pnutí pro zdivo.

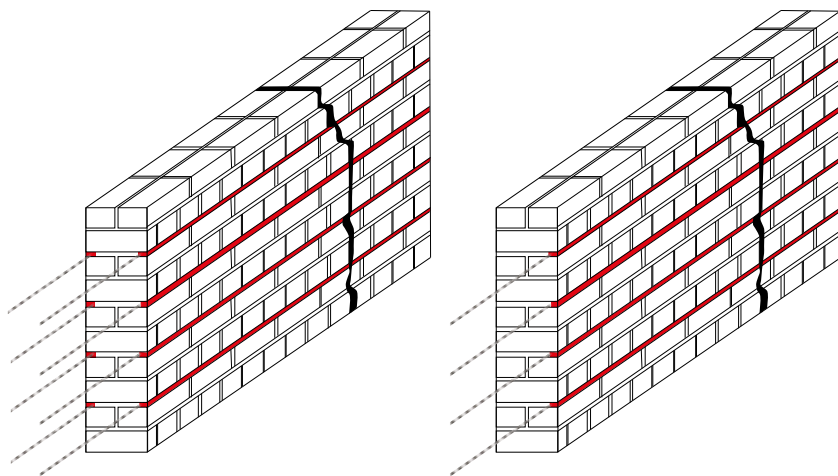
$$\epsilon_M = \epsilon_{Zw} \cdot \frac{\rho \cdot \alpha_e}{l_{es}/L + \rho \cdot \alpha_e \cdot (1 - l_{es}/L)}$$

Kritický případ, že může vzniknout nová trhlina, je očekávaný při nízkém počtu helikálních výztuží u tlusté zdi a relativně většího nuceného pnutí. Při průměrných podmínkách k tomu vůbec nedojde.

### 2.3 Jednostranné umístění helikální výztuže

Nahoře odvozené formule k vyměření helikální výztuže platí pro centrický tlak a symetrické uspořádání helikálních výztuží na obou stranách zdi.

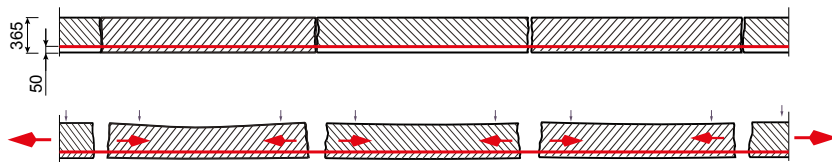
To ale odpovídá velmi zřídka reálným podmínkám. Častěji dochází k tomu, že uspořádání helikálních výztuží na obou stranách zdi není možné. To může být podmíněno stavebními podmínkami jako např. cihlové sloupy ve stěně nebo zapuštění.



Obr. 9: Zdivo s oboustranně (vlevo) příp. Jednostranně uspořádanými helikálními výztužemi (vpravo)

Směrodatné ale mohou být také požadavky stavitelů po pokud možno nízké zásahy do hmoty, např. Z důvodů památkové ochrany. V takovýchto případech se musí vycházet z jednostranné fixace trhliny. Na *obrázku 9*. jsou schematicky představeny oba případy.

Častý případ **jednostranného zesílení zdi** vyžaduje pro centrickou tažnou sílu zvláštní zacházení. Na *obrázku 10* ukazuje horizontální řez skrz potrhanou zeď, je vidět, že bez helikální výztuže se jednotlivé části zdi např. Při ochlazení nezávisle na sobě zkracují. Jsou-li na jedné straně zdi vloženy helikální výztuže, pak bude zabráněno zkrácení částí zdi mezi trhlinami na této straně. Jednotlivé části zdi se lehce zkříví a sice tak, že se ta nezesílená strana konkávně zvlíní. Takový systém není s prostředky technické mechaniky popsateľný, je to kinematický řetěz.



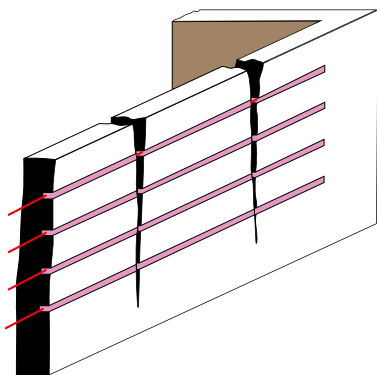
Obr. 10: Horizontální řez skrz stěnu s více oddělenými trhlinami

Aby se dosáhlo rovnováhy, jsou nezbytné síly v příčném směru, které umožní podporu jednotlivých částí stěny při namáhání v tahu.

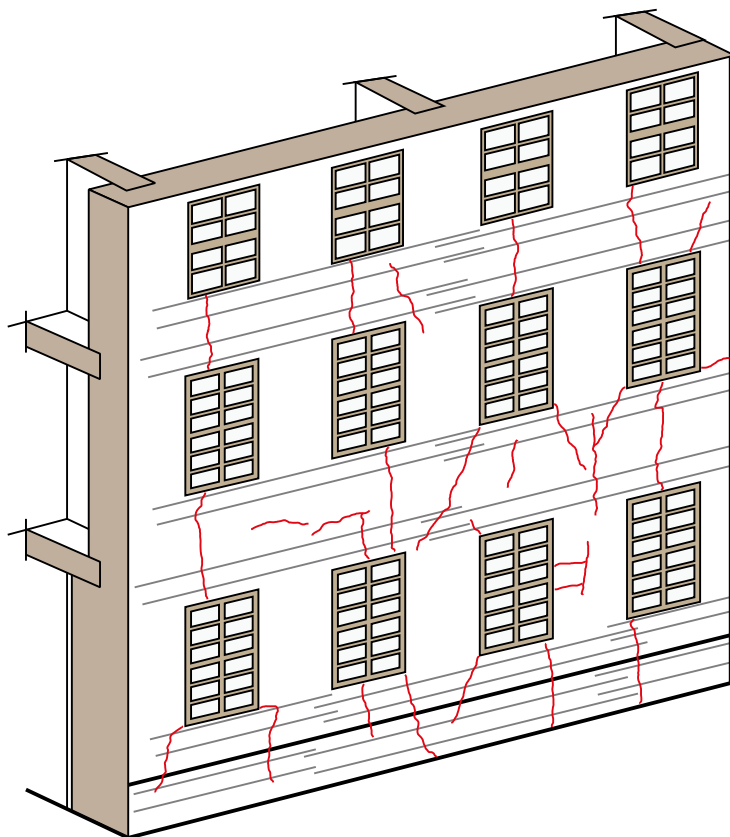
To je při prostorovém posouzení poněkud jinak. Na *obrázku 11* je vidět, že jedna stěna se nevznáší volně, jak by mohl naznačovat idealizovaný *obrázek 10*. Skutečně je stěna spojena se základem, nebo stěnou v poschodí, která není potrháná a na spodní straně tedy představuje fixaci. Při stěnách v poschodí mohou mít stropy na horní nebo dolní straně stejnou výztužnou působnost. Tím bude stěna vystavena méně či více horizontálnímu tahu.

Skrz excentricky působící helikální výztuž je dosaženo ohybového momentu, proti kterému působí slabé síly v příčném směru stěny. Vznikají skrz podporu na příčných stěnách a stropěch (*Obr. 12*). Při dlouhých, volně stojících stěnách neexistuje takováto opora. Proto by se měly v tomto případě při jejich opravě a instalaci helikálních výztuží tyto výztuže nejlépe aplikovat na obou stranách stěny. *Obr. 12* ukazuje reálný výřez fasády s výztužnými stropy a příčnými stěnami a oslabujícími průřezy oken.

Aby se zabránilo zbytečně komplikovaným výpočtům, upustí se od stejně nejistých odhadů výztužných účinků a vyměření helikálních výztuží je redukováno na idealizovaný případ středového namáhání, i když je helikální výztuž zpravidla aplikována pouze na jedné straně stěny.



Obr. 11: Vertikální trhliny v potrháné stěně s helikální výztuží při prostorovém posouzení



Obr. 12: Vyztužení venkovní zdi pomocí stropu a příčných zdí



Jednostranné uspořádání helikálních výztuží znamená excentrické namáhání. Ke zjednodušení zůstává nezohledněná, protože příčné zdi a stropy zabraňují volné deformaci stěny a způsobují přiblížení k centrálnímu průběhu sil. V případě dlouhé, vysoké a nevyztužené zdi je nezbytné oboustranné uspořádání nebo konstruktivní dodatečné rozvahy.



## 2.4 Tipy k volbě „přípustné“ hodnoty šíře trhliny při obnoveném otevírání trhliny po opravě

Přípustné hodnoty šířky trhliny existují pouze ve stavebních normách železobetonových staveb. Jsou označeny výslovně jako výpočetní hodnoty, které nesmí být srovnávány s naměřenými hodnotami. Výpočetní hodnoty činí podle DIN 1045-1 v závislosti na podmínkách působení 0,2 mm, 0,3 mm nebo 0,4 mm. Podle těchto výpočetních hodnot by se mělo orientovat také při opravě potrháných zděných budov.

Zatímco v nevytuzeném zdivu existuje sotva nějaká účinná možnost řízení šířky trhliny, u opravy pomocí helikální výztuže je to jinak. Skrz volbu počtu a průměru může být nová tvorba trhlin po opravě ovlivněna.

Trhliny jsou v nevytuzeném zdivu u šířek trhlin do 0,4 mm zpravidla bezvýznamné a mají být akceptovány. Ovšem při rozvažování stavitele je doporučován výzkum, zda se šířky trhliny v budoucnu zvětšují. K tomu najdeme tipy v literatuře, např. V (4). Při volbě přípustné výpočetní hodnoty šířky trhliny by se měl vždy **zapojit také stavitel**. On má poslední slovo a mělo by se s ním vždy poradit, kdy jsou jeho požadavky např. po nezávadném viditelném povrchu přemrštěné. Musí být informován také o účincích oprav trhlin a možném nepatrném opětovném otevírání trhlin, aby se zabránilo dodatečným nepříjemnostem. Je doporučováno uvést údaj z rozpětí podle *tabulky 1*.

Doporučená výpočetní hodnota šířky trhliny $W_k$	Kritéria
$W_k = 0,4$ mm	Podřadné použití bez zvláštních požadavků
$W_k = 0,3$ mm	Normální použití, hrubé povrchy, ne příliš jasné osvětlení
$W_k = 0,2$ mm	Vysoké požadavky na viditelný povrch, hladké povrchy, jasné světlo
$W_k = 0,1$ mm	Velmi vysoké požadavky na jasné osvětlení, velmi jasné světlo

Objektivní příznaky pro „přípustné šířky trhliny“ neexistují. Každá konkrétní situace je ovlivněna **subjektivními faktory**. Hlavní kritérium k posouzení trhlin ve zdivu jsou omezení použitelnosti potrhávané budovy nebo stavebního dílu a poškození vzhledu.

K tomu patří

- ohrožení stability (není rozhodující)
- vzhled, jak ze strany šířky trhliny, tak ze strany podílu potrhaných ploch na celkové ploše, posouzení je smysluplné pouze z běžné pozorovací vzdálenosti s běžnou světlostí
- možné omezení ochrany proti vlhkosti, tepelné a a zvukové izolace

Je důležité vzít na vědomí, že výpočetní hodnoty šířky trhliny, které platí pro stav po opravě, nesmí být přeměřovány na stavbě a srovnávány. Jsou to výpočetní hodnoty! Proto mohou být domluveny také pouze jako výpočetní hodnoty. Negarantují žádnou konkrétní hodnotu šířky trhliny, pouze určitou pravděpodobnost, že zůstane nové otevírání trhliny bez škodlivých účinků. Můžeme to vidět stejně jako u zatížení. Stejněměrně rozdělené užité zatížení od např. 2,0 kN/m<sup>2</sup> v nějakém obytném prostoru nepředpokládá, že se toto zatížení vyskytne někdy v průběhu užitého času. Výpočetní zatížení garantuje, že tím zaručuje stabilitu pro většinu všech variant zatížení (zřízení a použití prostoru), které se odvozují z požadavků na použití. Skutečně objevující se ohýbací momenty ve stropě nejsou potom větší než ty podle schematizovaného obrazu zatížení. Podobně se musí vycházet s výpočetními hodnotami šířky trhliny.



Neexistují žádné přípustné šířky trhlín. K udržovacím výpočetním hodnotám je doporučována porada se stavitelem a dohoda o jedné nebo více výpočetních hodnot.

## 2.5 Poznámky k přesnosti výpočtů

Představený výpočetní postup je sám o sobě logicky vystavěn a jeví se tedy jasně. Nesmí se ovšem ještě před počtetním výsledkem (který může vyjít s libovolně mnoha desetinnými místy) nechat ovlivnit. Proto je výsledek označován také jako **výpočetní hodnota šířky trhliny**, která se více či méně dobře shoduje s reálnou šířkou trhliny. Následující nejasnosti jsou obsaženy ve výpočetním postupu:

## Zatížení

Jako zatížení je stanoveno natahování stavebních dílů způsobené především změnami teplot. **Změny teplot** (průměrné denní teploty) mohou být správně odhadnuty. Přenos na střední teploty stavebních dílů znamená **odchyly** a **nepřesnosti**. Zjednodušeně se vychází z jedné statické teplotní podmínky, která se vyskytuje pouze zřídka.

Popřípadě by mělo být zohledněno také zkracování smrštěním. Dá se také velmi dobře odhadnout, když jsou známy okolní podmínky (teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu). Jelikož ale tyto hodnoty v budoucnosti nejsou známy přesně, vznikají odchyly. V DIN 1045-1 pro beton zadaný postup pro výpočet Schwinddehnung např. je zadáno rozmezí odchylek 30%. U zdíva není toto rozmezí menší.

## Parametry materiálu

Parametry materiálu pro zdívu se vztahují na namáhání tahem paralelně k ložným spárám. K tomu existující výsledky bádání jsou na rozdíl od charakteristických hodnot při namáhání tlakem velmi nepatrné. Obzvláště je určován modul tahu – elasticity zdíva jen díky porovnáním. Odebrání vzorků na místě a zkoušky v laboratoři jsou vyřazeny již kvůli velikosti zkoušky a tím podmíněné poškození budovy. Tak zůstává jen ne moc obsáhlá odborná literatura a porovnání s informacemi sesbíranými na místě. Z toho také vyplývají odchyly výsledků.

Kompozitní pevnosti mezi speciální maltou a helikální výztuží tak jako mezi zdívem a speciální maltou byly určeny doteď pouze v několika málo pokusech a zavedeny s odpovídající opatrností do metod výpočtů. Přitom byly nejdříve zkoumány jen stavební cihly a od těchto kompozitních pevností na základě hodnot z literatury sjednoceny na ostatní kamenné materiály. Další prohlubující experimentální zkoumání k rozšíření databáze sníží šířku rozpětí.

## Metody výpočtu

Metoda spočívá na lineárních přístupech, které popisují pouze zhruba skutečný stav věci. Především se zásadně odlišuje průběh napětí v soudržnosti od přímek, kvůli čemuž se běžně počítá kvůli zjednodušení s průměrnými hodnotami. Dlouhodobě působící namáhání v tahu v helikálních výztužích a ve zdívu nebývá nijak zvlášť zohledňováno. To se také nezdá být nezbytně nutné, protože se u starších trhlin nepočítá s dlouho působícím natahováním. Při teplotně podmíněném natahování můžeme vycházet z toho, že teplota nezůstane stát na nejvyšší hodnotě, ale její velikost se v průběhu dne i roku mění. Není známo, jak dalece relaxační procesy snižují tahové napětí ve zdívu. Myslitelné je zmírňující

působení. Musí se také zohlednit to, že tahové napětí ve zdivu nabývá pouze v málo případech vysoké hodnoty v blízkosti pevnosti v tahu. Dá se to vyčíst v diagramech v *odstavci 8.2*, když se posuzuje vynucené natažení v rozmezí do 0,2 mm/m, vhodné na opravu převážně starších trhlin ve zdivu.

Metoda výpočtu posuzuje pouze **centrické tažné síly** a jejich působení, i když je helikální výztuž aplikována pouze na jedné straně stěny. To platí za normálních podmínek jen stěží. Toto zjednodušení je o to vhodnější, čím více je stěna vyztužena proti postranním deformacím díky stropům a přepážkám. U nevyztužených, dlouhých a vysokých stěn se pracuje v normálním případě také pouze s jednostranně položenými helikálními výztužemi. Jelikož v nezpevněných stěnách mohou vzniknout prakticky pouze dělicí trhliny, je „statický“ systém při tažné síle a jednostranné poloze helikální výztuže bez vyztužení kinematický řetěz. V takových případech jsou konstruktivní úvahy o působení jednostranné polohy nezbytné a musí se plánovat pro konkrétní případ. Takové situace jsou pomocí všeobecně platných pravidel neřešitelné. Zde je žádaný zkušební inženýr.

Úhrnem může být zjištěno, že rozdílné vlivy nepřinášejí se svou nestálostí žádný „podrobný“ výsledek. Při vyměřování je rozhodující množství položených helikálních výztuží pro případ, že roztahování stavebního dílu po opravě vede k namáhání helikální výztuže tahem. Roztahování helikální výztuže nemůže být volně zvoleno, ale vyplývá z nepodajnosti zdiva a helikální výztuže vůči roztahování jako podílů na celkovém roztahování stavebních dílů. Pro výpočet diagramů v *kapitole 8.2* je vypočítáno také roztahování ocele jako mezivýsledek, i když není v diagramech potřebný. Leží při hodnotách šířky trhliny do  $w = 0,4$  mm jasně pod mezí kluzu ocele. Při nepřesnostech výpočetních výsledků nedojde k prasknutí helikální výztuže, protože roztahování helikální výztuže samotné je určováno vynuceným roztahováním a poměrem tuhosti v trhlíně po opravě. Do té míry je dobré dostat společně s vypočtenými hodnotami číselné výsledky, které umožní spolehlivé vyměření. Další statistické zajištění měřených parametrů materiálu zůstává žádoucím cílem.



Metoda výpočtu spočívá v některých zjednodušeních a vyžaduje známé hodnoty pro zdivo, které jsou ovšem pouze omezeně dostupné. Proto je výpočet spojen s odchylkami a nesmí být v ohledu na přesnost výsledků přeceňován.

## 3. Účinky a jejich časové působení, optimální doba opravy

### 3.1 Všeobecné

Statické výpočty obvykle potvrzují, že stabilita staveb, popřípadě dimenzují části stavby tak, že jsou stabilní.

Zatížení nezávislou silou hraje v mnoha statistických výpočtech podřízenou nebo dokonce žádnou roli.

Tím, že vestavěné helikální výztuže jsou dimenzovány pro nucení napínání, je zde požadováno jiný přístup jiného než pro zátěžové namáhání.

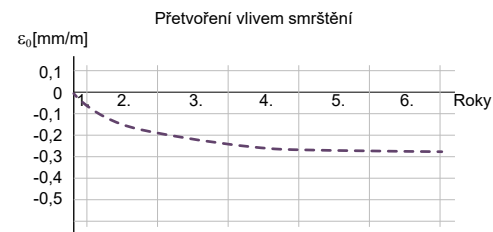
Nucená působení jsou:

- vadné ztenčování stavebních dílů
- vadné zmenšování stavebních dílů vlivem teploty
- nerovnoměrné sedání staveb nebo částí staveb

Vynucené deformace jsou částečně závislé na čase. Nerovnoměrné snižování staveb snižují koncovou hodnotu a zůstávají pak téměř nezměněné na konstantní úrovni. Jiné je to u deformací vlivem tepla. Kolísání atmosférické teploty vzduchu zůstává zachováno během celé délky životnosti stavby a zapříčiňuje permanentní deformace stavebních částí. Pokud se objeví tyto vady, vyvstanou opět a znovu nucené námahy. V *tabulce 2* je to znázorněno pro 3 zmíněné druhy a a na *obrázku 13* pro teplotní a ztenčující se zmenšování dílů.

Nerovnoměrné snižování se nedá tak systematizovat jako předchozí dva body. Délka sedání je ve vysoké míře ovlivněna strukturou půdy. Nejznámějším příkladem je šikmá věž v Pise, která od výstavby v roce 1173 až do současnosti jednostranně sedla a zešikmila se.

V dnešní době hojně se vyskytující sedání ve vztahu k hloubce stavební jámy na pozemkové hranici jsou zpravidla po ukončení stavebních prací slábnoucí. V jednotlivých případech to může být také jinak. Proto jsou odpovídající výšky oblouku znázorněny v grafu šrafovaně.



Obr. 13:  
Mizející a teplotou podmíněné změny délek zděných stavebních dílů v prvních 6 letech



Před opravou poškozených zděných částí se musí vědět, zda části stavby také po opravě působí nucené roztážení. Pokud ano, pak se vestaví helikální výztuže a ta se vyměří pro vybranou hodnotu výpočtu trhliny.

když poškozené stavební díly by měly být opraveny, jsou často staré. Změny způsobené časem jsou u starších staveb částečně nebo plně slábnoucí. K tomu patří deformace smrštěním a sedání. Deformace smrštěním trvají podle druhu zdiva od 3 do 6 let. Je velká pravděpodobnost, že ve chvíli opravy nevykazují už žádné nucené přitažlivosti. Proto zde nebudeme zohledňovat účinky nucených přitažlivostí ze smršťování a nerovnoměrného sedání. V případě požadavku, mohou být informace tohoto druhu z literatury odvozeny.

Pokud podléhají poškozené stavební části smršťování - to platí pro mladé stavby do 3 let - pak by se mělo stavebníkovi doporučit, s opravami ještě rok nebo dva počkat. V této době by měly deformace smršťováním doznívat, což znatelně zmenší zatížení helikální výztuže, popřípadě sníží jejich nezbytný počet.

V důsledku zůstávajících změn teplotami jako stále působící změny délek, pro které se vyměňují helikální výztuže. Na venkovní zdi působí změny teplot permanentně. Nucené tažné síly způsobené ochlazením se opakují v průběhu roku až do konce uživatelské doby. Setkávání se se změnami teplot je u zděných staveb nevyhnutelné a bude dále vysvětlen.

### 3.2 Natažení stavebních částí změnami teplot

Protože ve výpočetním modelu potřebujeme nucené natažení, musejí změny teplot v postiženém natažení být přepočítány. Aby bylo možné vypočítat střední natažení z jednotlivých změn teploty, potřebujeme střední teplotu stavební části před a po natažení. Ta se určí ve zjednodušeném způsobu jako střední hodnota teploty vzduchu na obou stranách zdi. To sice není úplně správně, protože ne všechny teploty povrchu souhlasí s teplotou vzduchu. Chyba je ale drobná. Se součinitelem tepelné roztažnosti s *obrázku 14* a pod podmínkou platnosti Hookova zákona počítají se změny délek v důsledku rovnoměrných změn teplot podle následující rovnice

$\Delta L$  – změna délky stavebního dílu

$\alpha_T$  – velikost ohřevu po zdění

$T$  – rozdíl mezi teplotami k opravě a k sledovanému datu

$L$  – délka natažení (úsek se společným natažením u nepoškozeného spoje, např. polovina trhliny obou stran jedné trhliny)

účinné odvozené nucené natažení je:

$$\varepsilon_{zw} = \alpha_T \cdot T \cdot \delta$$

$\delta$  – stupeň poškození (u plného poškození deformace je rovno 1)

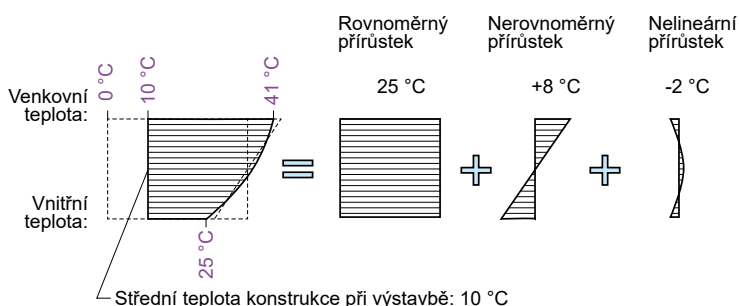
Změna délky zdiva v mm/m při změně teploty o 10 K

Materiál zdiva	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	Výpočetní hodnota
Cihly plné pálené													0,06 mm/m
Vápenopískové cihly													0,08 mm/m
Lehký beton													0,10 mm/m
Beton													0,10 mm/m
Pórobeton													0,08 mm/m

Obrázek 14: Hodnota ohřátí, zdivo po DIN 1053-100

Pro vyměření helikální výztuže nejsou absolutní teploty, nýbrž teplotní rozdíly k výchozímu bodu zájmu - který by měl být označen jako bod opravy. Rozhodující není teplota vzduchu, ale střední teplota části stavby. Ty se mění v průbězích dní, měsíců nebo let. Nějaký statický (neproměnlivý) teplotní stav, který by nám velmi ulehčil výpočet, bohužel u průměrného pozemního stavitelství neexistuje.

Abychom přesto došli ve výpočtech k uspokojivému výsledku, bude pro podmínky zájmu počítáno s statickým stavem. To platí tím lépe, čím déle působí teploty vzduchu na stavební díl (např. vnější zed). Proto by měly být výpočty tím větší, delší rozdíly denních středních teplot dílů než statický teplotní stav, který byl založen.



Obr. 15: Rozdělení teplotních rozdílů v průřezu zdi ve výpočetně jednoduchém podílu.

Ve statickém teplotním stavu rozlišujeme reálný průběh teplot přes průřez přes 3 podíly, o kterých se početně rozdílně pojednává. Obrázek 15 ukazuje úplně vlevo teploty vnějších ploch zdi v celkovém tvaru. Ta se dělí na 3 vedle toho stojící části, které početně rozdílně znamenají:

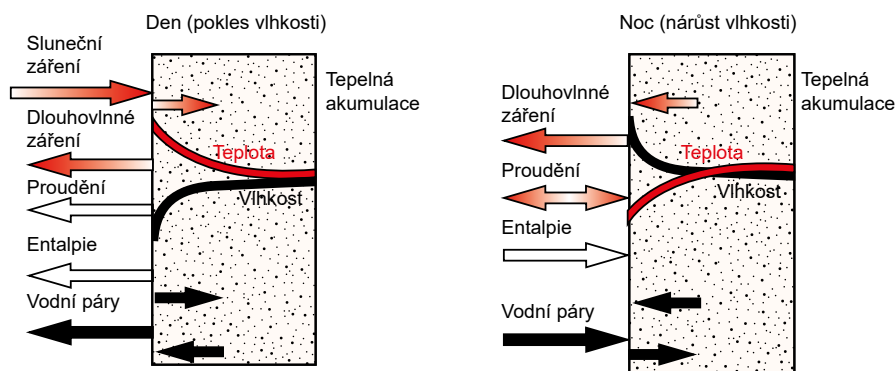
**Jednotvárné teplotní změny** - způsobuje prodloužení stavebních částí, při zchlazení se zkracuje, při zahřátí prodlužuje zdivo

**Nejednotvárné teplotní změny** - způsobuje zakřivení stavebních částí, zakřivení je na teplé straně konvexní.

**Nelineární teplotní změny** - vznikají při rychlých teplotních změnách na povrchu na protější straně jádra. Např: rychlé zahřátí plochy slunečním zářením. To způsobuje vyklenutí příčného řezu zdi a zvenku nevypadají jako deformace.



K výpočtu prvních dvou případů jsou zde k dispozici základní prostředky v technické mechanice, které budou objasněny v tomto odstavci. Denní, měsíční a roční kolísání teplot vyvolávají ve spojení s výměnou vlhkosti rozdílné stavy ve vystavěné zdi, které se mění trvale a pomalu podle atmosférických podmínek na vnější straně a popřípadě podobné na vnitřní straně. Na obrázku 16 je tento vývoj schematicky znázorněn. Tyto reálné teplotní stavy se značně liší od ideálních statických stavů v *obrázku 15*. Proto není dobré mít iluzi, že jsou výpočty přesné. Pracujeme s ideálními modely a ideálními hodnotami šířky trhlin.



Obrázek 16: Nestatické teplotní (červené) a hygrické? Působení (černé) na vnější zed.

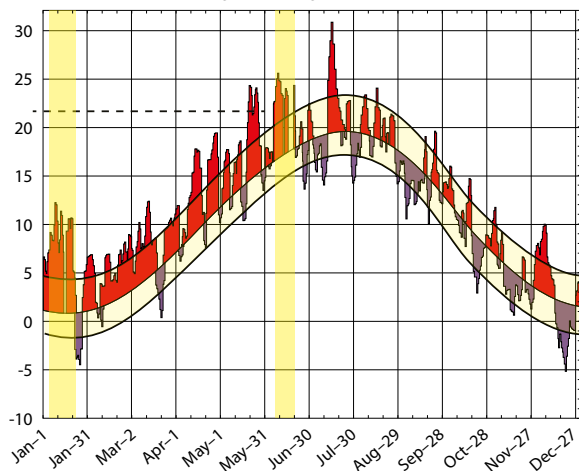
Jak se počítají z povrchové teploty (pro zjednodušení podle stabilní teploty vzduchu na každé straně zdi), které jsou rozhodující pro teploty stavebních částí?

Pro převzaté statické teplotní stavy používáme nejvýhodněji střední denní teploty, ve kterých jsou krátkodobé výkyvy teplot vzduchu vyrovnané. Ty jsou dostupné s každou předpovědí počasí. Přibližný statický teplotní stav, který na stavební díly téměř neměnně po určitý čas působí, se může nastavit, jen když střední teploty více než pár dní nebo týden stejné jsou.

Obrázek 17 ukazuje křivku středních denních teplot pro rok 2007 v Lipsku. Jako příklad jsou znázorněny dvě delší periody (žlutě), ve kterých se střední teploty měnily jen velmi málo. Pro tyto periody se dá předpokládat, že teploty na venkovní straně zdi ve středu v lednu +7 °C a v červnu +22 °C dosahují. Na konci tohoto časového období odpovídá u stavebních částí venku denní střední teplota teplotě stavebních částí na povrchu.

### Tagesmittel $T_{2m}$ in °C 2007

Farbig: Abweichung vom Klimanormal

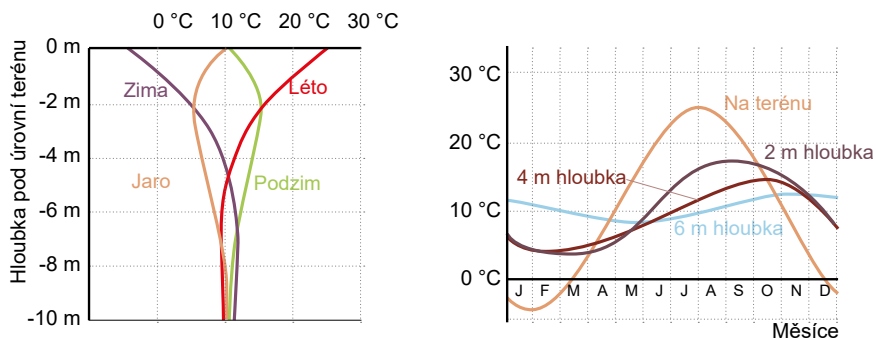


Obrázek 17

V obrázku 17 jsou krom středních denních teplot (dlouholetý nástroj) dvě další paralelní křivky znázorněny, které mají rozestup +4 °C (potažmo – Kelvinův). Tyto křivky mohou být použity jako orientace pro nejvyšší a nejnižší denní střední teploty v mezích výkyvů, které jsou použity pro výpočet měření.

U sklepních zdí, které se dotýkají země jsou venkovní teploty zdi jiné než u volně stojících zdí. Obrázek 18 udává vypočítané teploty, které mohou být užitečné.

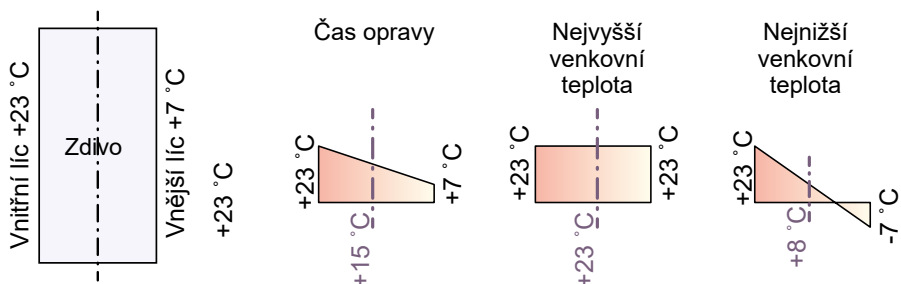
### Teploty půdy v průběhu roku



Obr. 18: Teploty staveb (vypočítané hodnoty) v závislosti na ročním období a hloubce pod povrchem.

Jedná se o paušalizované hodnoty. Pokud se v prošetřeném případě dosadí přesné hodnoty, pak jsou tyto směrodatné.

U venkovních zdí se střední teploty zdí na střední hodnotu mezi denním středem a vnitřní teplotou nastaví. To může být vysvětleno na příkladu. Pro oba časové úseky v lednu a v červnu by měly být střední teploty stavebních části určeny. Číselné hodnoty mohou být vyvozeny z *obrázku 19*. Vysvětlení hodnot zde není podstatné.



Obrázek 19

Vypočítané střední teploty zdiva nejsou početní hodnoty pro vyměření helikálních výztuží. Helikální výztuže jsou požadovány nejdříve po opravě, kdy se teplota podle střední hodnoty stavebních částí ve srovnání s dobou opravy změní.

Pro početní hodnoty potřebujeme teploty stavebních částí v době opravy. A taje v době přípravy buď jen přibližná, nebo neznámá. Předpokládejme pro náš příklad, že montáže helikálních výztuží přenášející síly se konají při teplotě +15 stupňů C, pak dostaneme následující teplotní rozdíly oproti době opravy:

Doba opravy +15 °C

Teplota stavby v létě +23 °C

Teplotní rozdíl +8 K

Teplota stavby v zimě +8 °C

Teplotní rozdíl -7 K

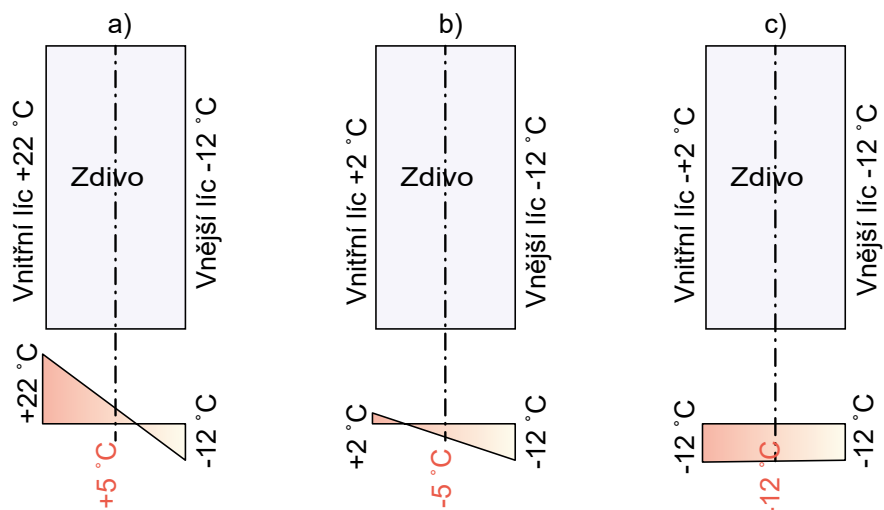
Tyto rozdíly středních teplot stavebních částí odpovídají při součiniteli teplotní roztažnosti od např. 0,01 mm/m na Kelvina:

- Prodloužení stavební části v červnu od 0,08 mm/m
- Zkrácení stavební části v lednu od 0,07 mm/m

V příkladu je vidět, že teplota v době opravy má důležitou hodnotu pro výpočet požadavku helikální výztuže. Dobra opravy je „hodina nula“ pro helikální výztuž, pro kterou skrz fixaci trhliny vzniká nový statický systém. Všechny výpočetní teploty se vztahují k této době a pro určení změny stavu jsou podstatné změny oproti výchozímu stavu.

### 3.3 Hodnoty měření natažení teplotou

Pro nejčastější případ venkovní zdi hraničící s obývkem nebo pracovnou se může předpokládat konstantní teplota  $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Venkovní teplota odpovídá střední denní teplotě venkovního vzduchu přes několik dní. Helikální výztuže budou požadovány jen při teplotách pod touto hodnotou, protože mohou postihnout otevření trhliny. Pro odhadnutí možného pohybu trhliny po opravě se doporučuje počítat se středními teplotami staveb. To odpovídá rovnoměrným teplotním změnám podle obrázku 15. Pro vnější teplotu se předpokládá denní střední teplota. Z dlouholetých statistik je vidět,



Obr. 20: Střední teplota zdi u venkovní nejhlubší teploty a pro tři druhy užití.

Že odchylky od dlouholetého středu s pozoruhodnou dobou asi 10 K obnášejí. Podle obrázku 17 dosahuje nejnižší střední denní teplota venkovního vzduchu v roce 2007, která zapříčinila stabilní teplotní stav ve venkovní zdi (v ledu)  $-2-10=-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

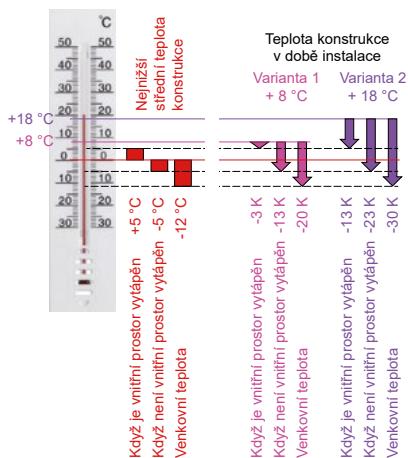
Takže střední teplota zdi může být vypočítána pro rozdílné druhy použití. Na *obrázku 20* jsou teplotní stavy a střední teploty zdiva pro jednotlivé nejnižší teploty uvedeny:

- Použití při vnitřním vytápění (pokojová teplota +22 °C)  
Střední teplota zdiva  $-12 - (-12 + 22) / 2 = +5$  °C (obr 20a)
- Použití bez vnitřního vytápění (pokojová teplota +2 °C)  
Střední teplota zdiva  $-12 - (-12 + 2) / 2 = -5$  °C (obr 20 b)
- Nechránění venku stojící zed'  
Střední teplota zdiva -12 °C (*obr. 20c*)

Hodnoty teplot nevypovídají ještě nic o zatížení zdí. Proto potřebujeme střední teploty zdi v době opravy. Teprve rozdíl mezi teplotami v minimu v zimě a v době opravy ukážou reálný rozdíl, který zapříčiní změnu délky po opravě a může být použit jako hodnota vyměření.

### 3.4 Nejvhodnější doba opravy

Teplota stavebních částí je důležitou hodnotou pro požadavek helikální výztuže v době opravy. Teplotu stavebních částí se nedá v době opravy sice ovlivnit, ale doba ano, ve které se bude opravovat. Teplota stavebních částí v době opravy je vztažný bod pro změny teplot po vestavění helikální výztuže.



Obr. 21: Rozdíly mezi středními teplotami zdi vzhledem k dvěma odlišným dobám opravy

V *obrázku 21* jsou zaneseny střední teploty zdi pro tři vypočítané minimální hodnoty (vnitřní vytápěné, vnitřní nevytápěné a volně stojící) a stanovena teplota v době opravy od +8 °C popř. +18 °C oproti tomu. Pro vyměřovací hodnoty pro zatížení helikální výztuže jsou rozhodující rozdíly mezi těmito hodnotami a třemi nejmenšími hodnotami.

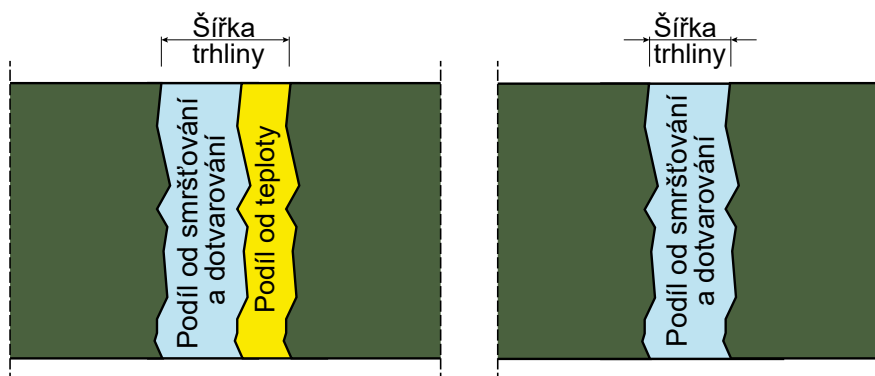
U těchto exemplárních vybraných teplot stavby v době opravy od +8 °C potažmo +18 °C se zvětšují rozhodující teplotní rozdíly pro vyměření helikální výztuže pokaždé o 10 K! To znamená, že množství helikálních výztuží může být ovlivněno přímo volnou dobami oprav. Kromě toho se vhodným výběrem doby opravy se zmenšuje riziko vzniku nových trhlin.

Všeobecně platí:

Čím více je trhlina v době opravy otevřená, tím nepatrnější je očekávané otevření trhliny po opravě. Upřednostňovány jsou doby opravy, kdy střední teploty zdiva jsou nejnižší a trhlina je široce otevřena, takže časně jaro nebo pozdní podzim.

Zafixovaná trhlina by se neměla po opravě už dále otvírat (nebo jen velmi málo). Většina trhlin zdiva se pohybuje v důsledku působení teplot během celé životnosti stavby. Příčiny trhlin můžeme dělit na ojedinělé, popř. slábnoucí a opakující se průběhy. Ojedinělé nebo slábnoucí příčiny trhlin jsou mizení a táhnutí se, a nerovnoměrné sedání. Jakmile odezní příčiny trhlin, jsou jedinými příčinami měnících se šířek trhlin teplotní změny.

Ztrácející se a sedající se podíl trhlin zůstává po odeznění teplotních změn stále. To znamená, že se trhliny po dvou až čtyřech letech nikdy zpět plně neuzavřou. Takže šířka trhliny se mění jen mezi maximální hodnotou a spodní hodnotou, která je určena podílem ojedinělého potažmo mizejícího tažení celkové deformace.



Obr. 22: Největší a nejmenší šíře trhliny v zimě, potažmo v létě.

U již existujících trhlin se mění šířka trhliny v důsledku změn teplot mezi dvěma extrémy:

- největší šíře trhliny při nejnižších středních teplotách stavby
- nejmenější šířka trhliny při nejvyšších středních teplotách stavby

Obě části se skládají z (po více letech) neměnných mizejícího a sedajícího podílu a variabilního teplotního podílu. Pokud se nasadí helikální výztuž k zafixování trhliny, pak musí být dodržen cíl, zamrazit co možná největší podíl variabilního podílu a neměnné části trhliny. Toho může být dosaženo jen průměrnou volbou doby opravy.

Překážka v podobě tažení není skoro nikdy strnulá, protože také stavba podléhá tažení a potažmo již zafixovaná trhlina se obnoví a o malou část se otevře. Také mohou v celkové konstrukci nastat elastické deformace, které omezí požadavky. Zde se hovoří o stupni zatížení. Uvádí se poměr skutečného až plně strnulého zatížení. Plně strnulé zatížení (postižení) odpovídá stupni zatížení od 0. Stupeň zatížení může být odhadován s dostatečnou přesností. Většinou je ve velikosti mezi 50% - 80%.

### 3.5 Tažení způsobené břemenem

Přestože ve výstavbě nebylo počítáno s žádným napětím v tahu pro průkaz bezpečnosti proti ztrátě stability, přesto často působí. Nevyhnutelné tažné síly zahrnují:

- změna směru působení síly (např. otvory ve zdivu)
- u obloukovitě zděných překladů a stropních kleneb
- u omezené velikosti namáhání v ohybu

U trhlin způsobených břemenem nejsou helikální výztuže a stejně tak jako u působení tlaku výztuže nasazeny. S nerezavějícími ocelovými výztužemi (požadováno schválení) je to jednoduše a účinně možné. Je k zamyšlení, že konstrukce zdiva zpravidla i po vzniku trhliny břemenem je stabilní.

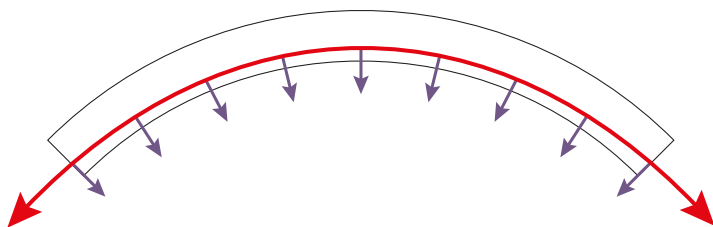
Oprava takové konstrukce helikální výztuží je účelná jen tehdy, pokud se trhlina zafixuje. Příklady pro trhliny způsobené břemenem jsou znázorněny v *obrázku 23*.

Pro opravné práce na klenutých konstrukcích se mohou lehce tvárné helikální výztuže tvaru stavby dobře přizpůsobit a umožní tak, znovu posílení dostupné hmoty. U památkově chráněných staveb je minimalizace poškození chráněné hmoty hlavní kritérium pro volbu řešení opravy. *Obrázek 23* ukazuje příklady. Trhliny jsou částečně překreslené, aby byly viditelné i na malém formátu. Vlevo je příčina trhliny v polokopuli – vlakem, vlastním a zatížením sněhem. Na prostředním vyobrazení vnikly díky objížděce zdi zatíženy vertikálně a pod okny horizontálně trhliny. Pravé vyobrazení ukazuje trhlinu v prodloužení žebru klenby, která pravděpodobně vznikla v klenbě příčným tahovým napětím.



*Obr. 23: trhliny způsobené přímým a nepřímým působením břemene v sakrálních stavbách*

Ohnutá přeložená helikální výztuž způsobí u zatížení napětí sílu v radiálním směru. Tím vzniká nebezpečí, že bude omítka ze zdi odpadávat. (*obr. 24*) Proto musí být helikální výztuže např. v klenbách použity na konvexní stranu nebo nadprůměrně hluboko.

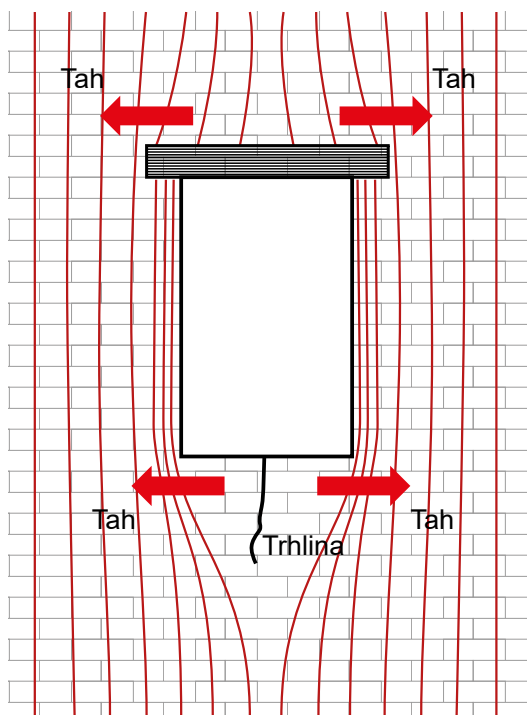


*Obr. 24: Při ohnutí na konkávní straně může helikální výztuž způsobit odpadávání omítky.*



Břemenem způsobené trhliny vznikají také změnou směru tlakové síly. Známým příkladem je otočení vertikálního zatížení u otevírání oken potažmo dveří. (obr. 23, 25). Takové horizontální síly způsobí vertikální trhlinu v parapetu, popřípadě nad dveřmi otevření (např. u zděných překladů). Na obrázku je železobetonový překlad v poloze přebírající silové napětí. Na parapetu vzniká při odpovídajícím vertikálním zatížení trhlinka. Stabilita tím nebude ohrožena. Díky vertikální trhlince vznikne nový stav rovnováhy, který bude málo nebo téměř vůbec ovlivněn nasazenou helikální výztuží.

Horizontální helikální výztuž přes vertikální trhlinu nemá navzdory tomu úlohu převzít vertikální zatížení přitažlivé síly. Mají pouze omezit pokud možno pohyb trhliny v důsledku např. změny teplot.



Obr. 25: Změna směru vertikálního zatížení otevírání zdiva požadující horizontální přitažlivé síly.



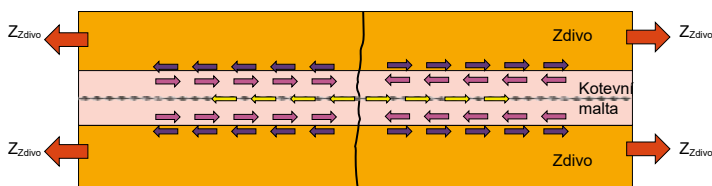
## 4. Spojení mezi helikální výztuží a zdi pomocí malty (kotevní malta?)

### 4.1 Všeobecně ke spojování

Aby byla trhlina zajištěna při působení nucené tažné síly, musí být v (na) helikální výztuži a straně trhliny malta pro helikální výztuže v opačném směru zdiva nanášena. Na dvě plochy pak působí síly spojení:

- vnější spojení na kontaktních plochách mezi stěnou a tvrdnoucí maltou v instalační drážce.
- vnitřní spojení na kontaktních plochách mezi maltou a helikální výztuží

Napětí spojení jsou mezi oběma plochami rozdílně velké, výsledná síla spojení (střední spojovací napětí děleno spojovací plochou) je na obou kontaktních plochách stejně velké. Pevnost spojení malty a zdiva se liší, takže rozdílně velké plochy spojení a napětí spojení jsou nezbytné, aby bylo možné přenést stejné síly. Nucená tažná síla ve zdi na trhlíně je skrz helikální výztuž vytažena na druhou stranu trhliny. Tažná síla přemostí trhlinu pomocí helikální výztuže. Tím vznikají v helikální výztuži také tažné síly s určitou tažnou hodnotou, skrz které se přemostěné a fixované trhliny opět trochu mohou otevřít. Tuto hodnotu se dá početně odhadnout.



Obr. 26: Nucená tažná síla ve zdi vyvolává síly spojení mezi zdí a maltou (vnější spojení) a mezi maltou a helikální výztuží (vnitřní spojení).

V početním modelu střední hodnoty napětí spojení mezi helikální výztuží a maltou zani-kají. Spojovací plocha pro vnitřní spojení musí být vybrána tak velká, aby neselhala jako první spojovací plocha.



Obr. 27: Vkládání helikální výztuže do připravené štěrbiny s první vrstvou malty.

## 4.2 Spojení mezi zdívm a maltou na helikální výztuž (vnější spojení)

Pokusy k určení pevnosti spojení neprokázaly žádné hodnoty pevnosti od okolo 1 N/mm<sup>2</sup> u plných cihel normálního formátu a maltou skupiny II. Výrobní podmínkou je spojení na spodní straně lišty na maltu lépe než na horní stranu. Na obrázku 27 je vyobrazena předloha. Je poznat, že nanášení malty na spodní stranu je jednodušší a tím i spolehlivější než na horní straně.

Do první instalační drážky se nanáší první vrstva malty. Následně se vtlačí do malty helikální výztuž a mezera se uzavře další vrstvou malty. Pro správné fungování helikální výztuže je nepostradatelná přilnavost mezi maltou a zdívm. Volné pokusy v laboratořích ukázaly, že stejného výsledku nelze bezchybně dosáhnout položením malty na horní plochu štěrbiny.

Ve vlastním pokusu byl pozorován tento jev. V obrázku 27 je vidět jak se nanáší malta. Je jasné, že kontakt na spodní straně štěrbiny je lepší než na horní ploše.



Obr. 28: Obě kontaktní plochy štěrbiny ve zdívm: vadné místo na horní straně.

Obrázek 28 ukazuje zatížení převzatého kusu štěrbiny s trčícím, utrženým kusem helikální výztuže. Na horní straně je možné skrz poškozené místo vidět a zabarvení je jiné než na spodní straně. Barevný rozdíl byl zjištěn taky na



Spojení mezi maltou a kamenem na horní a spodní straně štěrbiny není stejné.

dalších zkouškách a znamená rozdílnou přílnavost horní a spodní plochy spárovací malty.

2 cihly byly spojeny 30 mm širokou mezerou maltou na helikální výztuže vložené maltební latkou vytaženou. Na obrázku 30 byl skluz strojně nanesen, který se drobným zatížením od reálného skluzu liší. Očekávaný stav v dřívějším stavu tažení a posunutím mezi kamenem (cihlou) a maltou.

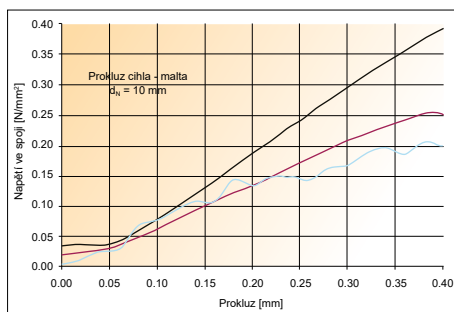
Opětovný stav spojení rostl se stoupajícím roztažením přibližně proporcionálně. V praktické využitelné oblasti byl skluz měl spojovací napětí minimálně okolo  $\text{N/mm}^2$ . Spojovací napětí bylo na jedné kontaktní ploše od 30 mm di 240 mm =  $7200 \text{ mm}^2$  (jen pod kontaktní plochou), takže bylo možné pozorovat selhání spojení.

V obrázku 31 byl otevřen takový zkušební kus, který vyobrazuje pohled shora. Na horních polovinách jsou k rozpoznání stopy po bednění a pod tím na cihle opravená mezera.

Pokusy byl proveden pro 3 dodané jmenovité hodnoty:  $dN = 6 \text{ mm}$ ,  $8 \text{ mm}$  a  $10 \text{ mm}$ . Rozdíl jmenovité hodnoty mezi rozdílnými jmenovitými hodnotami naměřenými nebyla zjištěna očekávaná hodnota, protože spojení mezi helikální výztuží a nýbrž mezi cihlou a maltou nebyl rozhodující.



Obr. 29: Zkušební tělesa pro spojovací zkoušky malty-cihla.



Obr. 30: Vztah soudržnosti napětí a skluzu pro 3 modely s helikální výztuží s měřičem jmenovité hodnoty  $dN = 10 \text{ mm}$ , kotevní délka: 240 mm.



Obr. 30: Otevřený zkušební kus po zkoušce.

$\beta_{HS}$  in N/mm<sup>2</sup>, Steine lufttrocken, Normalmörtel

Mauerstein		Verbundfestigkeit
Mauerziegel	Mz	1,0 N/mm <sup>2</sup>
Hochloch- und Leichthochlochziegel	HLzm LHLz	1,0 N/mm <sup>2</sup>
Kalksandsteine	KS, KS L	0,4 N/mm <sup>2</sup>
Leichtbetonsteine	Hbl, V, Vbl	0,9 N/mm <sup>2</sup>
Porenbeton	PB	0,25 N/mm <sup>2</sup>

Vnější spojení mezi kotevní maltou a cihlou je ve svém působení je podobný. V (8) jsou údaje k vlastnostem spojení cihel a malty k nalezení. Přílnavost závisí také na druhu cihel a malty. S přiblížením se k hodnotě pro skupinu malty III., která se nejvíce přibližuje kotevní maltě, se doporučují hodnoty pro pevnost spojení mezi maltou a zdívkem podle *tabulky 3*. Pokud nejsou předloženy žádné speciální hodnoty pro adhezi kotevní malty, mohou být použity tyto hodnoty. Reálné hodnoty pro speciální maltu jsou pravděpodobně trochu větší.

### 4.3 Spojení mezi maltou a helikální výztuží (vnitřní spojení)

Spojení mezi maltou a helikální výztuží na jedné straně a mezi maltou a zdívkem na straně druhé je podstatný předpoklad pro spojený účinek helikální výztuže přes trhlinu. Kvalita spojení bude rozhodující podle tvaru horní části helikální výztuže. Čím drsnější povrch bude, tím lepší bude spojení. To bude určeno dvěma složkami:

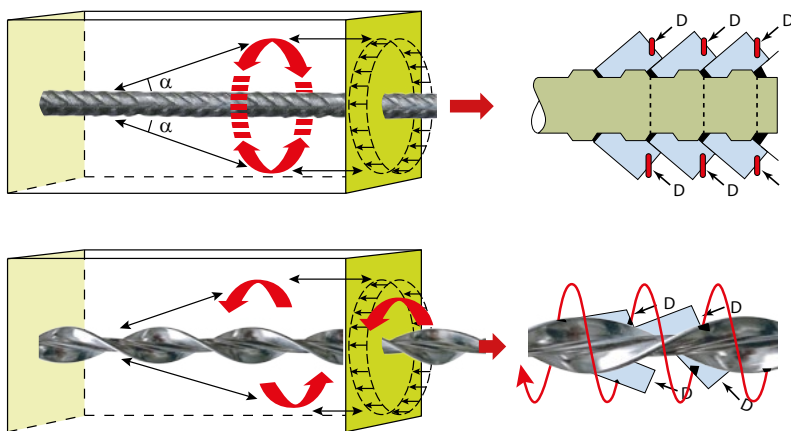
- Přílnavosti mezi maltou a ocelovým povrchem.
- Odpořem malty, který je utvářen tvarováním helikální výztuže a pevností malty. U betonářské oceli se žebra záměrně vyválcují, které představují betonové konzole hlavního odporu proti narušení spojení (*obr. 32 a 33*). Takové, spojení podporující prostředky u helikální výztuže neexistují.

Pevnost spojení bude stanovena u ocelářského betonu jako 1,8 násobek hodnoty střední betonové pevnosti v tahu. To odpovídá např. u betonové pevnosti v tahu o hodnotě 3,0 N/m<sup>2</sup> hodnotě 5,4 N/mm<sup>2</sup>. Bohužel pro helikální výztuž nemůžeme tuto hodnotu převzít, protože ta je pro spojení určujícího povrchu úplně jinak postavena. (*obr. 32*). Je podmíněna procesem zhotovení – velmi hladká a zakroucená jako šroub.



Obr. 32: Porovnání povrchů helikální výztuže  $d_N=10\text{ mm}$  s výztužným prutem o průměru  $d_s=10\text{ mm}$ .

Na obrázku 33 je schématicky znázorněno srovnání účinku spojení u ocelového betonu a helikální výztuže ve speciální maltě. U výztužného prutu (nahore) vyvíjejí vyválcované žebra přímý spojovací odpor. Vzniklé šikmé tlakové síly v betonu se opírají o žebra. U jistého požadované výšky vznikají plastické poškození betonu na požadovaná žebra. Tím vzniká prokluz.

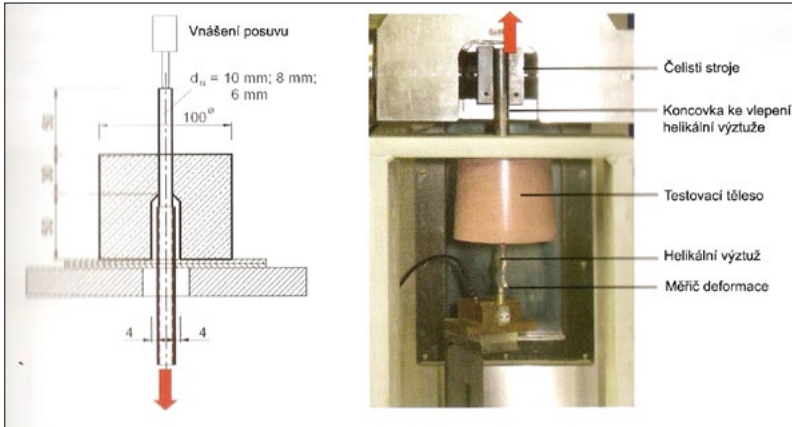


Obr. 33: Účinek spojení u ocelového prutu a helikální výztuže.

Helikální výztuž se v kotevní maltě chová jinak. Maltá podnícená šikmými silami tlakovými nemají žádné žebra jako podporu, ale musí se podpírat o hladké šikmé plochy. Tím vzniká točivý moment, který zasazením helikální výztuže do maltě je postižen. Maltá tím drží vysoký tlak a přitažlivou sílu, helikální výztuž se díky rotaci prvně přichytá na maltu a tím se jmenovitá hodnota proti maltě zformuje.

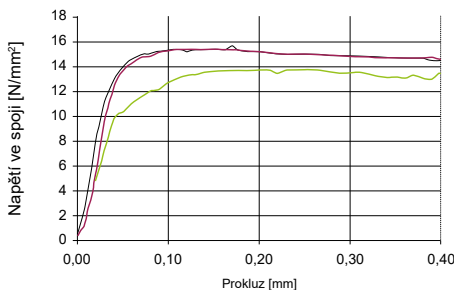
Síla ražení ve spojení s horní pevností malty působí pozdější vyklouznutí a větší spojení než u betonu.

Abychom mohli testovat vzájemné působení helikální výztuže s maltou a mohli určit pevnost spojení, byly provedeny pull-out pokusy. To znázorňuje obr. 34. je nutno vzít na vědomí, že schéma a foto bylo otočeno o 180°.



Obr. 34: Modifikované pullout zkušební těleso a pokusné nařízení, pokusné těleso se ve srovnání ukazuje vlevo.

V rozdílu Rilem-pullout zkušební tělesa obnáší vybraná délka spojení kvůli malým příčným plochám nezávisle na jmenovitém průměru 30 mm. Rilem – zkušební těleso vyčuhuje jako délka průměru. Na ideální rozdíl od maximálně 4,07 mm by byly zkušební délky nejméně 23 mm, což by bylo nevýhodné.



Obr. 35: Pullout diagram pro 3 pokusy na helikální výztuž se jmenovitou hodnotou 10 mm (ideální průměr  $d=4,07$  mm)



Drobný počáteční skluz bez jmenovité hodnoty působení sil bylo u vyhodnocení srovnáno. Pak rostou napětí spojení cca proporcionalně ke skluzu až k hraniční hodnotě, která u skluzu asi, 05 mm dosahuje. Pevnosti spojení je pak také dosaženo. Ta obnáší pro jmenovitou hodnotu  $d=10$  mm asi  $13-15$  N/mm<sup>2</sup> (obr. 35) dosahující zaokrouhleného ideálního průměru  $d=4,07$  mm, který byl vypočítán z čtverečních ploch podle GI (3).



*Obr. 35: Rozštípnuté těleso po zkoušce ukazuje drobné spojení adheze.*

V konečném procesu skrz tažný průběh vznikají hladké ocelové plochy, s téměř žádnou adhezí s maltou. Ty stlačují malé posuny od do cca 0,05 mm, aby drobné adheze překonaly a donutily helikální výztuž dosáhnout závitovou kontaktní plochu.

Až vystup odporu je konstantní.



*Obr. 35: Otevřené těleso po zkoušce, vlevo je druhá polovina (zrcadlově) s hladkou helikální výztuží a jejím otiskem k vidění.*

Obrázek 38 ukazuje pokusné těleso po pullout pokusu. Horní tyč je nezměněna, spodní je po plně vytažena z malty, aniž by maltu výrazně poškodila. Délka vložení je viditelná na spodní tyči.

Po vytažení z malty po ukončení pokusu (ve směru zleva na obrázku), se tyč o cca 180 stupňů podél vlastní délky a plasticky se zdeformovala. To můžeme vidět na srovnání horní a spodní tyče na obrázku.

U pokusů s jmenovitou hodnotou  $d=8$  mm, vztaženo na ideální průměr  $d=3,57$  mm, byly naměřeny podobné hodnoty spojovací pevnosti. ( $18 - 18$  N/mm<sup>2</sup>). Plato křivky dosáhlo skluzu 0,05 mm.

Pullout pokus s malou helikální výztuží s jmenovitou hodnotou 6 mm má odchyloující se průběh křivky. Skluz sedá dříve a a plynule stoupá. Hodnoty pevnosti spojení byly nepatrné. Proto by měly být vaše hlavní užití na nepracující trhliny omezené.

Pro vypočítání šířky trhliny po opravě helikální výztuží je potřeba střední pevnosti spojení. Ta je určena z integrace pullout křivky v betonářské oceli (*obr 35*). Pro helikální výztuže stanovené jednoduchým průběhem křivky s krátkým lineárním výstupem a horizontálním pokračováním až přes využitelné oblasti, mohou být bez matematické operace odhadnuty.

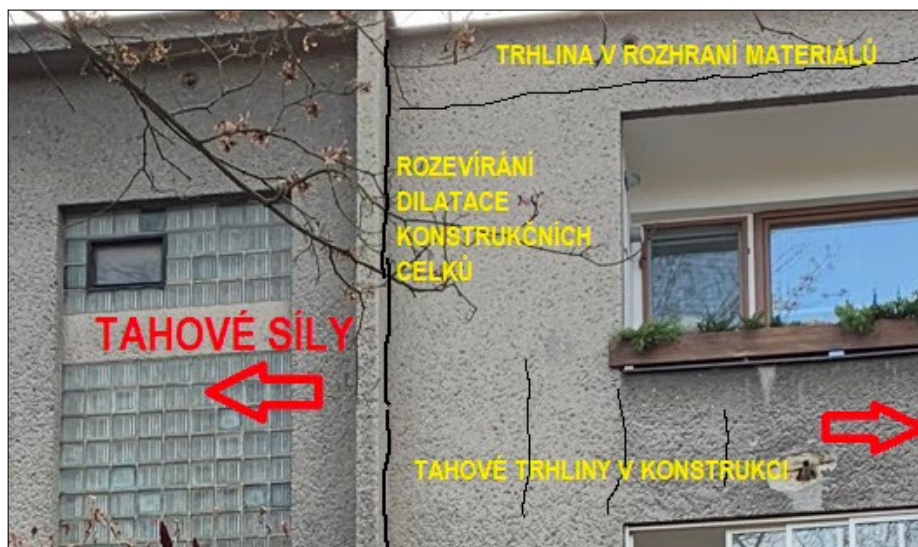
S ohledem na dlouhodobě působící požadavky se počítá se střední hodnotou  $d=10$  mm a  $d=8$  mm, s  $T=10$  N/mm<sup>2</sup>, když je získán ideální průměr  $d$ . Vezmeme-li nedopatřením jmenovitou hodnotu jako srovnávací veličinu, pak klesá účinek spojení na asi polovinu.

#### 4.4 Které spojení je rozhodující?

Funkční spojení mezi speciální maltou a zdívkou na jedné straně a mezi speciální maltou a helikální výztuží na straně druhé je pro úspěšnou opravu nutně požadováno. Ze soudržnosti se vypočítá délka ukotvení a délka styku přesahem.

V předloženém případě jsou obě pevnosti spojení cca jako 1:10 ve prospěch spojení mezi maltou a helikální výztuží.

Na *obrázku 39* je selhání spojení mezi speciální maltou a cihlou vidět. Zanesení dlouhodobého tažení, dalo za vznik působení centrované přitažlivosti. Spojení štěrbinou na speciální maltu (helikální výztuží) a zdívkou vypovědělo jako první. Můžeme vidět na horní ploše dlouhou trhlínu. Tím bylo možné horizontální posunutí v mezeře v délce několika milimetrů. Což způsobilo vedlejší boční mezeru v cihle. Do malty vložená helikální výztuž se elasticky natáhla a způsobila jemné trhliny v maltě. Tyto trhliny se ovšem znovu uzavřely a na fotce vypadají jako jemné linky.



*Obr. 39: Výřez plochy zdiva (pokusné těleso) po zatížení tahem s, spojení trhliny na okraji maltební štěrbinou a tahovou trhlinou.*

Že na horní straně maltební štěrbiny vznikla dlouhá trhlina, není náhoda. Horní plocha je vždy ta s nepatrnou přilnavostí. To vysvětluje shrnutí na obrázku 27 a 28.

Délka ukotvení musí být vybrána tak, aby nevedla k narušení spojení mezi speciální maltou a cihlou a ani mezi helikální výztuží a maltou. Jen tak se dá helikální výztuž naměřovat, aby ovlivnila otevření trhliny při opravě.



## 5. Helikální výztuž - funkce a použití

### 5.1 Všeobecné

- Model výpočtu vyžaduje znalost 4 materiálových hodnot
- modul elasticity helikální výztuže
- modul elasticity zdiva pro namáhání tahem paralelně k ložným spárám
- střední spojovací pevnost mezi maltou a helikální výztuží
- (Zugbruchdehnung) natahování zdiva k prasknutí většinou pravouhle k ložným spárám

Potrhané zdivo je většinou starší zdivo, pro které zpravidla nejsou známy potřebné materiálové hodnoty. Je také následně těžké tyto potřebné údaje pro stávající zdivo opatřit. Určení parametrů modelu elasticity a natahování zdiva k prasknutí podle zkoušek materiálu na místě vyžaduje speciální znalosti a znamená značné finanční náklady. To bývá někdy oprávněné u památkově chráněných budov. Často se ale od takového zkoumání upouští a opírá se o údaje z odborné literatury. Ačkoli je tato cesta spojena s určitými nepřesnostmi, musí se k ní ve většině praktických případů přistoupit. Musí se proto již od začátku počítat s určitými nejasnostmi vypočítaných výsledků.

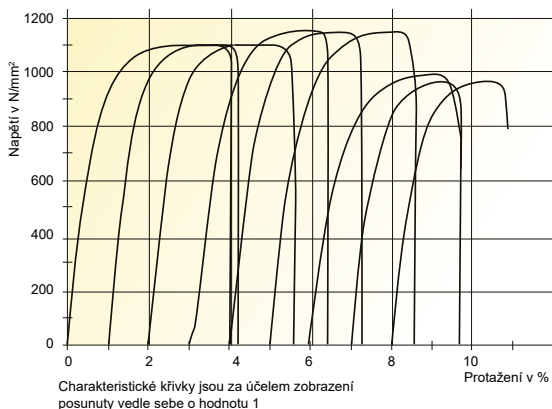
### 5.2 Hodnota pro modul elasticity helikální výztuže

Podle údajů výrobce helikální výztuže jsou závislé hodnoty elasticity modulu na jmenovitém průměru:

$$\begin{array}{ll} d_{??} = 6 \text{ mm} & E_{\text{Spir}} = 156\,269 \text{ N/mm}^2 \\ d_{??} = 8 \text{ mm} & E_{\text{Spir}} = 148\,813 \text{ N/mm}^2 \\ d_{??} = 10 \text{ mm} & E_{\text{Spir}} = 146\,114 \text{ N/mm}^2 \end{array}$$

Podobné hodnoty můžeme převzít z Výsledků měření institutu pro testování materiálů pro stavebnictví Braunschweig (Brunswick) [7]. Na *obrázku 40* jsou představeny křivky měřené v Braunschweigu (pro lepší přehled jsou počátky pro každou křivku posunuty o 1%).

Křivky se od sebe navzájem odlišují jen zanedbatelně. Proto bude pracováno s jednou hodnotou.



Obr. 40: Linie napětí a natahování pro helikální výztuž [7].



Výpočetní hodnota pro modul elasticity helikální výztuže činí

$$E_{\text{Spir}} = 150000 \text{ N/mm}^2$$

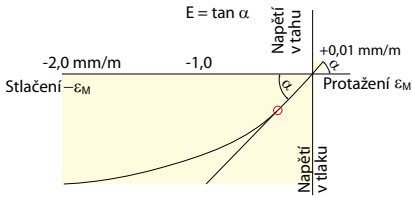
### 5.3 Hodnoty pro modul elasticity tahu zdiva $E_w$

Modul elasticity tlaku zdiva je určen jako modul sečny u třetiny pevnosti v tlaku pod prvotním zatížením (Obr. 41). V této oblasti je odchylka mezi křivkou a přímkou (sečnou) nepatrná. Modul elasticity tahu musí být určen na malém rameni té stejné křivky. Může se pouze málo odlišovat od modulu elasticity tlaku. Pravděpodobně je u stejného zdiva a stejném směru síly (např. paralelně k ložným spárám) dokonce o něco větší. Rameno pro namáhání tahem probíhá přibližně lineárně. Obrázek 42 ukazuje linie napětí a natahování při namáhání tahem paralelně k ložným spárám. Napětí v tahu a natahování jsou na mezi pevnosti proporcionálně k sobě.

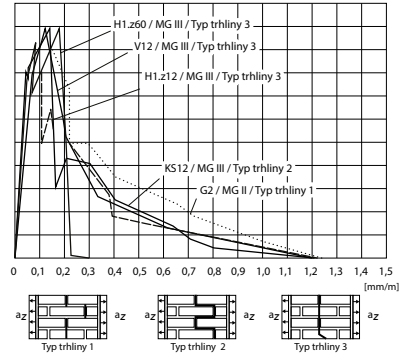
Mechanické vlastnosti zdiva závisí na jejich komponentech kameni a maltě. Čím větší jsou moduly elasticity u obou komponentů, tím větší je také modul elasticity zdiva. Kromě toho hraje roli podíl spár na celkovém objemu. Čím menší je, tím více se přibližuje modul elasticity zdiva většímu modulu elasticity kamenů.

Vzorce, se kterými se dá vypočítat modul elasticity v tahu ze známých hodnot obou komponentů, již dále nepomáhají, jelikož také tyto známé hodnoty mohou být získány pouze s velkými výdaji. Proto je doporučeno při práci se zdivem vybrat modul elasticity v tahu s následujícími údaji a trochou zkušeností.

Hodnoty pro modul elasticity v tahu zdiva paralelně k ložným spárám leží mezi 500 N/mm<sup>2</sup> a 8000N/mm<sup>2</sup>.



Obr. 41: Linie napětí a natahování pro zdivo (tlak a tah)

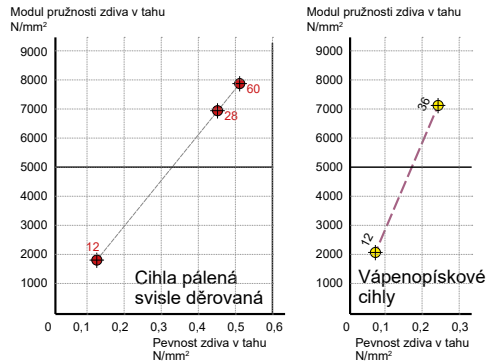


Obr. 42: Linie napětí v tahu a natahování od paralelně taženého zdiva k ložným spárám, experimentální výsledky od Baekes (citováno podle [3]).

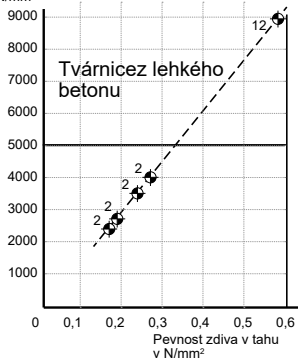
## Výpočet modulu elasticity v tahu z pevnosti kamene a malty

Číselné údaje pro modul elasticity v tahu najdeme např. U Schuberta [5]. Ten specifikuje vztahy mezi modulem elasticity v tahu a pevností v tahu paralelně k ložným spárám (normální malta se spoji vyplněnými maltou). K použití těchto diagramů potřebujeme znát

Obr. 43: Modul elasticity v tahu paralelně k ložným spárám v závislosti na pevnosti v tahu, experimentální výsledky pro cihly a vápenopískové zdicí prvky podle [5]. Čísla měřených veličin udávají třídu pevnosti kamene.

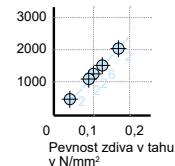


Modul pružnosti zdiva v tahu  
N/mm<sup>2</sup>



Pórobetonová  
tvárnice

Modul pružnosti zdiva v tahu  
N/mm<sup>2</sup>



Obr. 44: Modul elasticity v tahu jako v obrázku 43 pro zdivo z tvárcí z lehkého betonu a porobetonových tvárníc.

pevnost v tahu zdiva. V [5] jsou k tomu uvedeny vzorce pro oba případy selhání pevnosti „kamen v tahu“  $\beta_{Z,St}$  a „adhezivní pevnost ve smyku“  $\beta_{H,S}$ .

16

$$\beta_{Z,p,1} = 0,5 \cdot \beta_{Z,St} \left( \frac{1}{1 + d_f/h_{St}} \right)$$

17

$$\beta_{Z,p,2} = \beta_{H,S} \cdot \frac{\ddot{u}}{h_{St} + d_f}$$

$\beta_{Z,St}$  – pevnost kamene v tahu

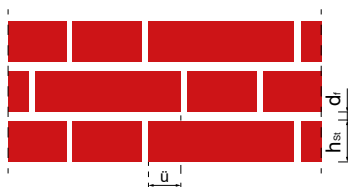
$d_f$  – tloušťka ložných spár

$h_{St}$  – výška kamene

$\beta_{H,S}$  – adhezivní pevnost ve smyku v ložné spáře mezi kamenem a maltou

$\ddot{u}$  – spojovací měřítko

Na obrázku 45 jsou udány geometrické velikosti.



Obr. 45: Označení pro Gl.n (16)a (17)



Abychom mohli použít obě rovnice, jsou nutné údaje o pevnosti kamene v tahu a adhezivní pevnost ve smyku mezi maltou a kamenem. Jsou obsaženy v následujících tabulkách.

Cihla		$\beta_{z,St} / \beta_D$	
		Průměrná hodnota	Rozsah hodnot
vápnité pískovce	KS	0,065	0,039 až 0,081
cihla	Mz	0,04	0,01 až 0,08
příčně děrovaná cihla	HLz	0,03	0,013 až 0,041
lehce příčně děrovaná cihla	LHLz	0,01	0,002 až 0,019
dutinová tvárnice	Hbl	0,01	0,002 až 0,019
tvárnice z lehkého betonu	V, Vbl	0,08	0,04 až 0,21
porobetonová tvárnice	PB, PP	0,08	0,13 až 0,20
betonová tvárnice	Hbn	0,08	0,06 až 0,09

Tabulka 4: Vztah pevnosti kamene v tahu v podélném směru kamene  $\beta_{z,St}$  k standardní pevnosti v tlaku kamene  $\beta_D$ , experimentální hodnoty podle [8].

$\beta_{H,S}$  Adhezivní pevnost ve smyku je udána v tabulce č. 5.

Cihla		Skupina malt			
		II	Ila	III	IIla
cihla	Mz	0,4	0,5	0,7	1,0
příčně a lehce příčně děrovaná cihla	HLz, LHLz	0,4	0,5	0,7	1,0
vápnité pískovce, plná a děrovaná tvárnice	KS, KS L	0,15	0,20	0,30	0,40
tvárnice z lehkého betonu	Hbl, V, Vbl	0,4	0,6	0,7	0,9
porobetonová tvárnice	PB	0,1	0,6	0,2	0,25

Tabulka 5: Adhezivní pevnost ve smyku mezi kamenem a maltou  $\beta_{H,S}$  N/mm<sup>2</sup>.

Pokyny k určení malty na místě:

Skupina I. ryzí vápenná malta

Skupina II. a IIa vápeno-cementová malta (snížený podíl vápence u skupiny IIa)

Skupina III. a IIIa cementová malta (o něco vyšší pevnost v tlaku u skupiny IIIa)

### Početní příklad k stanovení modulu elasticity v tahu

Trhlina na *obr. 46* by měla být vyplněna a zafixována helikální výztuží. Na starém kameném útvaru (délka kamene 250 mm, šířka 120 mm, výška 65 mm) je poznat, že zdivo bylo vyrobeno před rokem 1952, pravděpodobně je tedy cca 80 let staré. Malta je ryzí vápenná malta (skupina malt I) a pevnost kamene je odhadována na  $\beta_D = 10 \text{ N/mm}^2$ .



*Obr. 46: Příklad zdiva*

Nejdříve bude určena pevnost v tahu podle rovnic 16 a 17. Tím je zjištěn na *obr. 43* modul elasticity v tahu pro zdivo paralelně k ložným spárám.

16

$$\beta_{z,p,1} = 0,5 \cdot \beta_{z,St} \left( \frac{1}{1 + d_f/h_{St}} \right)$$

$\beta_{z,St}$  pevnost v tahu kamene získáme z tabulky 4 pro cihly (průměrná hodnota):

$$\beta_{z,St} = 0,03 \text{ (extrapolované)}$$

$$\beta_{z,St} = 0,03 \cdot 10 = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

Tloušťka spár činí  $d_f = 12 \text{ mm}$ , výška kamene  $h_{St} = 65 \text{ mm}$ .

Potom dle rovnice (16)  $\beta_{z,p,1} = 0,5 \cdot 0,3 \cdot (1/(1+12/65)) = 0,18 \text{ N/mm}^2$

Pro kontrolu spočítáme hodnotu podle rovnice 17. Rovnice 17 zní

17

$$\beta_{z,p,2} = \beta_{H,S} \cdot \frac{\ddot{u}}{h_{St} + d_f}$$

Adhezivní pevnost ve smyku podle tabulky 5 činí pro skupinu malt I a cihly

$\beta_{H,S} = 0,3 \text{ N/mm}^2$  (extrapolované). Spojovací měřítko a výška kamene činí

$$\ddot{u} = 0,5 \cdot (250-120-2 \cdot 10) = 55 \text{ mm}$$

$$h_{St} = 65 \text{ mm}$$

S těmito hodnotami získáme z rovnice 17  $\beta_{z,p,2} = 0,3 \cdot 55/(65+12) = 0,21 \text{ N/mm}^2$

Tato hodnota je větší než ta určená podle rovnice 16. Tím činí pevnost zdvia

$$\beta_{zp} = 0,18 \text{ N/mm}^2$$

$$E_M = 2900 \text{ N/mm}^2$$

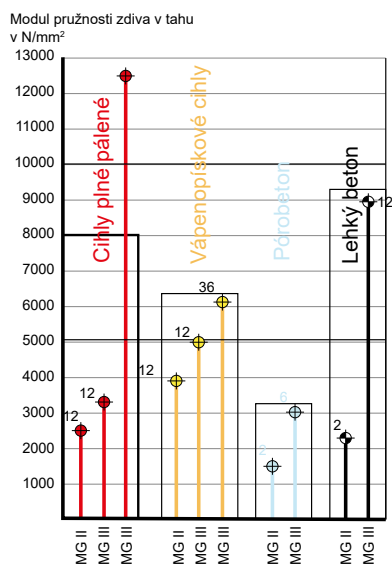
### Odvození modulu elasticity tahu z experimentálních výsledků

Bohužel existuje pouze málo experimentálních zkoumání k určení modulu elasticity tahu paralelně k ložným spárám. Na obr. 47 jsou uvedeny některé experimentální výsledky, které dávají záchytné body pro odhad modulu elasticity tahu.

Doplňující údaje jsou k nalezení ve [3]. Jsou představeny pomocí údajů tříd pevnosti kamene na *obrázku 47*. Číselné hodnoty se velmi dobře shodují s těmi podle [5].

Některé literární údaje ukazují, že existuje souvislost mezi pevností zdiva a modulem elasticity v tahu. Čím vyšší jsou hodnoty kamenné pevnosti a pevnosti malt, tím vyšší je modul elasticity v tahu. Tato tendence se objevuje u všech druhů kamene, avšak na různých úrovních.

Pro předchozí příklad bychom mohli vyčíst z *obrázku 47* hodnotu v blízkosti nahoře určené hodnoty 2900 N/mm<sup>2</sup>.



Obr. 47: Hodnoty modulu elasticity v tahu podle Backese (citováno dle [3]); čísla na bodech měření jsou třídy kamenné pevnosti.

## Doporučení pro praktické zacházení

Určení modulu elasticity v tahu pro zdivo v horizontálním směru je v laboratorních podmínkách velmi nákladná zkouška. Na stávajícím zdivu je taková zkouška za rozdílných podmínek na místě sotva proveditelná. Pouze v některých zvláštních případech mohou být vynaloženy tyto nezbytné náklady, jako např. u oprav budov památkově chráněných. Se známými metodami ovšem dochází k nepříjemným poškozením zdiva. U méně významných oprav může určení materiálových parametrů stát více než samotná oprava. Proto se prozatím upouští od takovýchto zkoušek a modul elasticity v tahu se musí odhadnout za pomoci předchozích údajů.

Pro prakticky zaměřeného inženýra zůstává především orientace na dostupné údaje v literatuře, které jsou zde představeny v *obrázku 43* a *obrázku 47*. Prakticky se vyskytující hodnoty jsou

- pro zděné zdivo 2000 až 8000 N/mm<sup>2</sup>
- pro vápenito-pískovcové zdivo 2000 až 8000 N/mm<sup>2</sup>
- pro zdivo z tvárnic z lehkého betonu 2000 až 9000 N/mm<sup>2</sup>
- pro zdivo z tvárnic z porobetonu 400 až 2200 N/mm<sup>2</sup>

U staršího zdiva byla často použita ještě vápenitá malta (skupina malt I), u které leží modul elasticity pod průměrnou hodnotou. Při volbě modulu elasticity platí uvnitř rozpětí, že pro jednu skupinu malt s menší pevností je očekáván také menší modul elasticity (*Obr. 47*).

Výsledek, početní hodnota šířky trhliny, není proporcionálně ovlivňován modulem elasticity. Z rovnice 14 můžeme odhadnout, že vliv modulu elasticity v tahu je podprůměrný/neúměrný.

Příliš vysoko zvolený modul elasticity poskytne větší početní hodnoty šířky trhliny, příliš nízko zvolený modul elasticity poskytne menší početní hodnoty šířky.

To souvisí s tím, že podíl zdiva na protahování stavebního dílu roste s menším modulem elasticity. Tím je podíl natahování přičítaný helikální výztuži menší, díky tomuto podílu je určena šířka trhliny.

Při prohlídce místa, kterou musí každé plánování opravy začít, se získají určité informace k budově, k příčinám trhliny a k po opravě ještě očekávaným pohybům stavebního dílu zapříčiněným nucenými deformacemi. Následující informace by měly být získány na místě:

- prostředí, světové strany, eventuálně vystavované prostředí (sluneční svit, zastínění)
- druh cihel, formát kamene, vška ložných spár a případně zvláštnosti vazby, měřítko přesahu (*Obr. 45*)
- kvalita malty (verbální), Freikratzen (škrábání?) oblasti spár
- druh a kvalita kamenů (plné a děrované tvárnice), stav pevnosti (verbálně)
- stáří stavby (polevily ubývající deformace?)
- obraz trhliny, odstupy trhlín k určení délky roztahování L

Zkušený inženýr bude postupovat tak, že pro stávající druh kamene zvolí střední modul elasticity a pak z dodatečných informací z prohlídky místa odhadne odchylku nahoru nebo dolů. Tak dostaneme použitelnou hodnotu, se kterou může být sdělen minimální počet helikálních výztuží pro jednu určitou početní hodnotu šířky trhliny za dostatečné přesnosti.



#### 5.4 Natahování zdiva vedoucí k prasknutí v závislosti na směru trhliny paralelně nebo kolmo k ložným spárám

Natahování zdiva vedoucí k prasknutí činí 0,1 až 0,2 mm/m (*Obr. 42*). Závisí na druhu zdiva (pevnost kamene a skupina malt). Při důkazu, že po opravě nevznikne žádná nová trhlina, je pro natahování zdiva vedoucí k prasknutí doporučena pro použití hraniční hodnota **0,1 mm/m**.

#### 5.5 Ukazatele pro určení délky roztahování L

Znalost roztahovací délky je nezbytná, aby mohlo být zohledněno roztahování zdiva mezi trhlinami. Tento podíl na roztahování stavebního dílu způsobuje společně s novou šířkou trhliny po opravě nucené roztahování stavebního dílu. Čím výstižněji můžeme tento podíl roztahování vystihnout, tím spolehlivější je výpočet šířky trhliny. Roztahování zdiva mezi trhlinami je určeno na jednu stranu modulem elasticity paralelně k ložným spárám, na stranu druhou roztahovací délkou L.

Roztahovací délka je délka zdiva, která pod tahovým napětím gerät, když po opravě znovu působí nucené roztahování v oblasti trhliny. V nejjednodušším případě jde u skupiny trhlín s přibližně stejným odstupem mezi trhlinami právě o odstup mezi dvěma sousedícími trhlinami. *Obr. 48* ukazuje tři příklady:

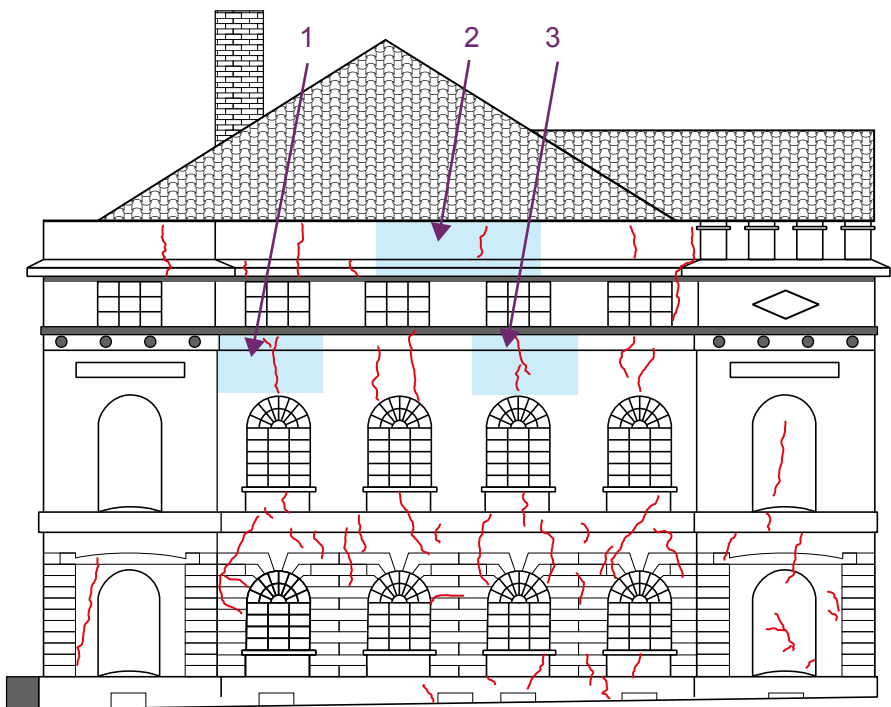
Příklad 1: symetricky k trhlině činí roztahovací délka rd. 3,50 m

Příklad 2: asymetricky k trhlině (levá délka je větší než pravá), roztahovací délka rd. 5 m

Příklad 3: asymetricky k trhlině (pravá délka větší než levá), roztahovací délka rd. 3,30 m

Příklady ukazují hodnotu v měřítku nákresu trhliny. Bez nákresu by bylo určení roztahovací délky na místě pracné a nepřesné.

V přízemí jsou odstupy trhlín tak nepatrné, že se nevyplatí jejich výpočet. Větší počet trhlín umožňuje více možností pohybu na fasádě než v poschodí. Díky helikální výztuži musí být zajištěno, že všechny trhliny budou poděleny určitou částí na kompenzaci nuceného roztahování po opravě. Toho dosáhneme nejlépe po celé délce vedenou helikální výztuží, která bude sloužit jako povrchové vyztužení.



Obr. 48: Tři příklady pro určení roztahovací délky (světle modře zvýrazněné)





## 6. Pravidla konstrukce

### 6.1 Všeobecné

Helikální výztuže bývají aplikovány dodatečně do stávajícího zdiva. Druh kamene zde přitom hraje podružnou roli. Prakticky neexistují žádné omezení pro použití u zdiva z umělého i přírodního kamene. Stabilita potrhanych zděných stavebních dílů je skrze trhliny zpravidla nepoškozena. Po aplikaci jsou helikální výztuže nejprve bez napětí. Za povšimnutí stojí také to, že zatížení zdi nepůsobí na vytvrdlou maltu, protože byla nanesena do štěrbin stěny u zatížené stěny. Teprve když se již opravený stavební díl znovu natahuje nebo zkracuje, získají helikální výztuže křížící trhlinu dle směru protahování napětí v tahu nebo napětí tlakové.

Helikální výztuže nejsou žádné normované vyztužení jako pro železobeton nebo zdivo, ale mají zabránit nucenému rozpínání, eventuálně ho předat dál a rozdělit. Když jsou očekávány zátěže, musí se použít vhodné, normované prostředky. Helikální výztuže se chovají jinak než vyztužovací tyče v železobetonu. Jakmile vznikne trhlinka v železobetonu, nachází se vyztužení již v betonu. Teprve po dosažení zátížení při vzniku trhlin vznikne trhlinka v betonu. Zatížení při vzniku trhlin je většinou normativní veličina pro stanovení minimální výztuže. U zdiva je nejprve trhlinka právě zde, později je zafixována pomocí helikální výztuže. Zatížení při vzniku trhlin jako určující veličina pro minimální vyztužení neexistuje.

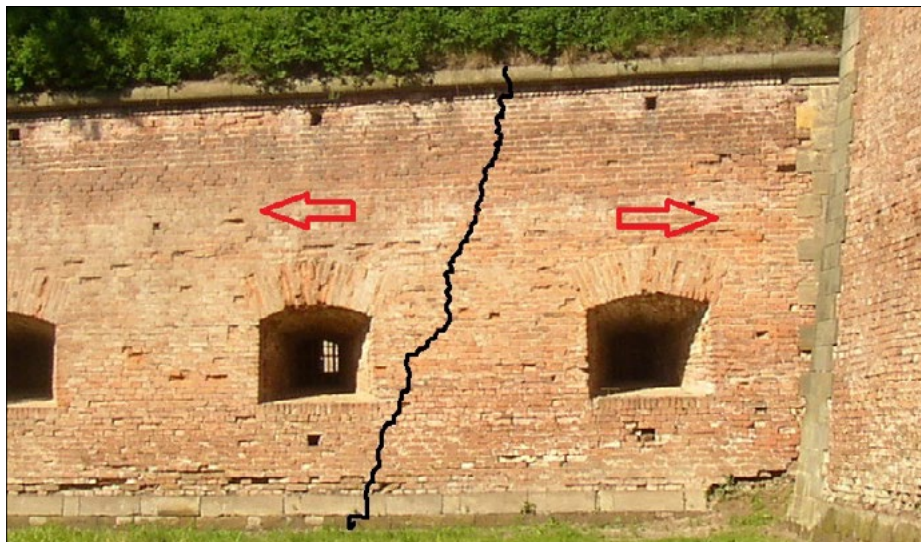
Podle namáhání/napětí helikální výztuže rozlišujeme mezi **pohybujícími se a klidnými okraji trhliny**. I po opravě se pohybující okraje trhliny přeměřením určují počet a jmenovitý průměr helikální výztuže.

Okraje trhliny, které se již nehýbou, by mohly být vyřešeny pouze vyplněním trhliny. V praxi musí být ale zohledněno, že nahodilé, neplánované události jako např. Otřesy, namáhají stavební díl a přitom mohou trhlínu jako nejslabší místo znovu otevřít. U hladkých a jednobarevných, světlých omítaných ploch jsou viditelné i nejjemnější trhliny. Proto je někdy vhodné aplikovat helikální výztuže i přes trhliny s klidnými okraji. Nemohou být vyměřeny, protože takovéto trhliny by podle plánu neměly už více býti zatěžovány. Mají funkci fixovat okraje trhliny proti neplánovaným malým namáháním. V tomto případě musí být počet a jmenovitý průměr volen konstruktivně. Pro rozmístění a konstruktivní záležitosti platí v obou případech stejné zásady.

## 6.2 Směr položení helikální výztuže pokud možno ve směru tažné síly

Helikální výztuže bývají položeny do plochy stěny, tedy v jedné rovině. Jejich průřezová plocha vztažená na určitou délku je určována skrze počet pro metr a jmenovitým průměrem. Dosahují jejich největší účinnosti když jsou položeny po směru nucené tažné síly. Jestliže se od sebe liší směry nucené tažné síly a helikální výztuže, potom mohou být účinné pouze ty (menší) nosné komponenty ve směru síly. U přiměřeného namáhání při odchylkách ve směru položení od směru tažné síly, je nezbytné více helikálních výztuží.

Tažná síla probíhá kolmo ke směru trhliny. Na obrázku trhliny může být určen směr tažné síly vytvářející trhlinu. Existují ovšem i šikmé trhliny, které neprobíhají kolmo ke směru tažné síly.

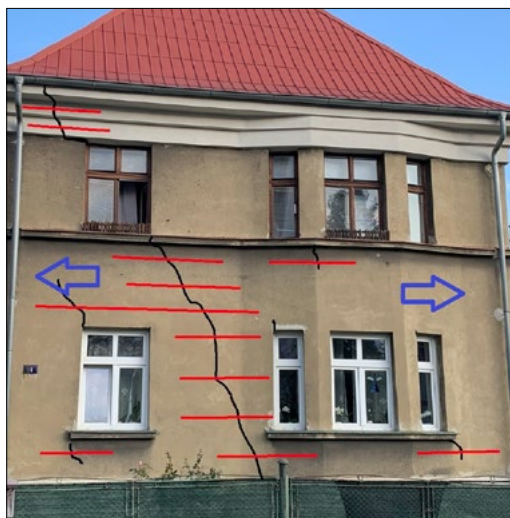


Obr. 49: Šikmá trhlina skrz horizontální tažnou sílu.

Obrázek 49 ukazuje příklad pro tento případ. U staršího zdiva bývala většinou použita vápenná malta, která má na rozdíl od kamene o mnoho menší pevnost. Za působení horizontální tažné síly tedy selhávají nejprve spáry (kolmé k tažné síle). Krátké délky ložných spár mezi na sebe navazujícími spárami (1/4 kamene) potom nemohou zabránit šikmé trhlině, která vlastně je odstupňovaná vertikální trhlina. Proto se také v těchto případech pokládají helikální výztuže do ložných spár eventuálně do drážek paralelně k ložným spárám a tím tedy po směru tažné síly.

Trhlina na *obrázku 50* je vertikálně orientovaná avznikla kvůli chybějícímu vyztužení domu proti horizontálnímu zatížení (např. ztužující věnec). Takové trhliny najdeme na mnoha starších rodinných domech, ve kterých jsou ještě dřevěné trémové stropy ve spojení se zdívem.

Trhlina bude zafixována pomocí horizontálně vložené helikální výztuže. Přilehlá helikální výztuž by měla být lehce odsazena, aby nevedla tažnou sílu v jedné linii do zdiva. Helikální výztuže mají být pokládány v řadě tak, aby byly jejich konce osazeny pokaždé proti sobě.



Obr. 50: Vertikálně orientovaná trhlina ve štítu, náprava pomocí helikální výztuže horizontálně vložené do ložných spár.

Tak končí zanesené tažné síly ve dvou stupňovitých liniích. Pravděpodobnost, že může vzniknout nová trhlina na konci výztuže, je tedy minimalizována.

Trhlina na *Obr. 51* je způsobena poklesem štítu v popředí. Proto se přední část domu zkroutila o jeden bod na spodním konci trhliny směrem dolů. Můžeme to vidět na tom, že trhlina je s přibývajícím odstupem od otočného bodu/středu otáčení širší. Oprava potrhane zdi by byla nevhodnější šikmou helikální výztuží.

To je možné u omítané stěny, protože po aplikaci helikální výztuže musí být omítka obnovena. Technicky není žádný problém zařezat drážky do zdiva v jakémkoliv libovolném směru. Varianta na *obr. 51* vpravo s horizontálně vloženými helikálními výztužemi vyžaduje větší plochu kotvení, protože nejsou vloženy po směru natahování. Je principiálně také možná a vyžaduje menší náklady při vytváření drážky.



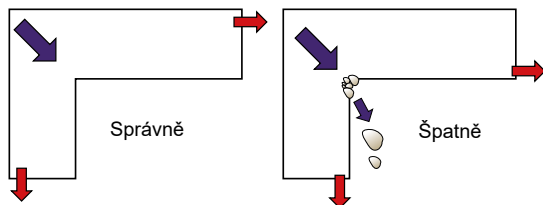
Obr. 51: Trhlina způsobená sednutím, sepnutí trhliny pomocí šikmých nebo ještě lépe horizontálních helikálních výztuže.

To je možné u omítané stěny, protože po aplikaci helikální výztuže musí být omítka obnovena. Technicky není žádný problém zařezat drážky do zdiva v jakémkoliv libovolném směru. Varianta na obr. 51 vpravo s horizontálně vloženými helikálními výztužemi vyžaduje větší plochu kotvení, protože nejsou vloženy po směru natahování. Je principiálně také možná a vyžaduje menší náklady při vytváření drážky.



Helikální výztuže jsou nejvíc účinné, když jsou položeny po směru tažné síly. Pokud se od sebe odlišují směry tažné síly a ložných spár, pak by měly být upřednostněny ložné spáry. Plocha helikálních výztuží tak bude o něco větší.

Mohou vzniknout vjimečné případy, kdy musí být helikální výztuž vedena kolem rohu. Je možné ohnout helikální výztuž bez jakýchkoliv škod. Přitom musíme dát pozor, že při změně směru tažné síly v helikální výztuži vzniknou radiální příčné síly, jejichž působení nesmí vyvolat žádné sekundární škody. U venku kolem rohu vedené helikální výztuže může dovnitř vedená radiální příčná síla přijata od zdiva. U uvnitř kolem rohu vedené helikální výztuže se může maltová spára rozpojit a helikální výztuž se stát neúčinnou. (Obr. 52).



Obr. 52: Správné a špatné vedení helikální výztuže aplikované v úhlu

Problém může nastat také u zakřivených ploch jakéhokoliv druhu. Na konkávní straně např. u kopule může být položena helikální výztuž pouze v případě, když je zajištěna proti „vystřelení“ ven. Zpravidla stačí hlubší drážka ve spojení s větší hloubkou vložení.

### 6.3 Hloubka štěrbiny/drážky pro helikální výztuž

Aby se stávající budova již dále nepoškozovala, měly by se přednostně pro vložení helikálních výztuží využívat spáry. Žádoucí by bylo, když by se vyšlo se spárou, aniž by se poškodily cihly. Pro vyměření drážek jsou určující dvě kritéria:

- Musí být zajištěna pevnost zděného stavebního dílu. Horizontální drážka je průřezové oslabení pro vertikální zátěže a omezení bezpečnosti při vzpěru.
- Plocha přilnavosti mezi speciální maltou a zdivem musí být tak velký, aby bylo zajištěno ukotvení helikální výztuže.

Obě kritéria musí být splněna, aby mohla být zavedena drážka do zdiva bez ohrožení. Obě kritéria musí být trochu vysvětlena.

#### Pevnost zdiva

Horizontální a vertikální průřez zdiva nesmí být libovolně oslabený, protože by se mohly vyskytnout problémy se stabilitou. Zejména musí být s horizontálními drážkami, které jsou zpravidla při pokládání helikálních výztuží nezbytné, nakládáno s opatrností. Vyměrování drážek, které jsou přípustné bez statického vpočtu, jsou stanoveny v souboru norem. V tabulce 6 jsou uvedené hloubky drážek podle eurocodu 6 „Vyměření a konstrukce zděných staveb – část 1.1: Všeobecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zdivo, německé vydání EN 1996-1-1:2005“, které jsou přípustné bez statického výpočtu. U zdiva s šířkou kamene činí hloubka drážky bez průkazu 15 mm, u zdiva nad 300 mm šířky 20 mm. Hloubka drážky bez statického výpočtu může být zvýšena o 10 mm jakmile je drážka zhotovena v délkách nanejvýš 1250 mm (?rozmazané číslo). Taktéž může být hloubka drážky bez vpočtu zvýšena o 10 mm, když je šířka stěny větší než 175 mm a drážka může být zhotovena pomocí nářadí rozměrově přesně (poznámka 4 v tabulce 6).

Wanddicke mm	Maximale Tiefe mm	
	Unbeschränkte Länge	Länge 1250 mm
116 bis 175	0	15
176 bis 225	10	20
226 bis 300	15	25
> 300	20	30

Tabulka 6: Bez výpočtu přípustné velikosti vodorovných a šikmých drážek ve zdivu (eurokód 6).



- 1/ Maximální hloubka drážky by měla zahrnout hloubku perforace vzniklé při zhotovování drážky.
- 2/ Horizontální rozestup mezi koncem drážky a štěrbinou by neměl být menší než 500 mm.
- 3/ Horizontální rozestup mezi vedle sebe ležícími drážkami ohraničené délky, nezávisle na tom, zda se nacházejí pouze na jedné straně stěny nebo také na naproti ležící straně stěny, by neměl být menší než dvojnásobek délky nejdelší drážky.
- 4/ Ve stěnách se šířkou > 175 mm může být přípustná hloubka drážky zvětšena o 10 mm, když je použit nějak nástroj, se kterým může být přesně zachována potřebná hloubka drážky. Jakmile je použit nástroj, aby byla vytvořena drážka do 10 mm hloubky na obou stranách stěny, potom nesmí být zbytek šíře stěny menší než 225 mm.
- 5/ Šířka drážky by neměla být větší než polovina zbytku tloušťky stěny.

Wanddicke mm	Nachträglich hergestellte Schlitzte und Aussparungen	
	maximale Tiefe mm	maximale Breite mm
116 bis 175	0	15
176 bis 225	10	20
226 bis 300	30	175
> 300	30	200

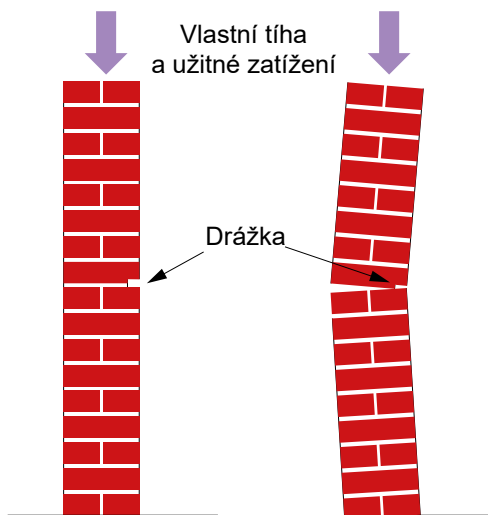
Tabulka 7: Bez výpočtu přípustné velikosti vertikálních drážek a výklenků ve zdivu (eurokód 6)

- 1/ Při tom platí jako maximální hloubka drážek a výklenků hloubka včetně děr, kterých se docílí při zhotovování drážek a výklenků.
- 2/ Vertikální drážky, které nedosahují více než třetiny výšky podlaží nad polohou stropu, smí mít při šířce zdi větší než 225 mm hloubku do 80 mm a šířku do 120 mm.
- 3/ Vodorovný odstup mezi vedle sebe ležícími drážkami nebo mezi jednou drážkou a výklenkem nebo otvorem by neměl být menší než 225 mm.
- 4/ Vodorovný odstup mezi dvěma vedle sebe ležícími výklenky, nezávisle na tom, zda se nacházejí pouze na jedné straně stěny nebo také na naproti ležící stěně, a mezi výklenkem a otvorem by neměl být menší než dvojnásobek šířky širší drážky.
- 5/ Celková šířka vertikálních drážek a výklenků by neměl činit více než 0,13tinu délky zdi.



Pakliže nedostačují hloubky drážek pro pokládání helikálních výztuží udané v obou tabulkách, potom je potřebný statický výpočet. Pokud je to nutné jsou stanovena podpůrná opatření (např. klíny k vyztužení okrajů spár), která musí být rovněž staticky doložena.

Musí být důraz o namáhání tlakem, které působí kvůli drážce excentricky a pro sníženou bezpečnost ve vzpěru skrz průřezové oslabení a excentricitu (Obr. 53).



Obr. 53: Nebezpečí zlomu kvůli prořezávání stěny

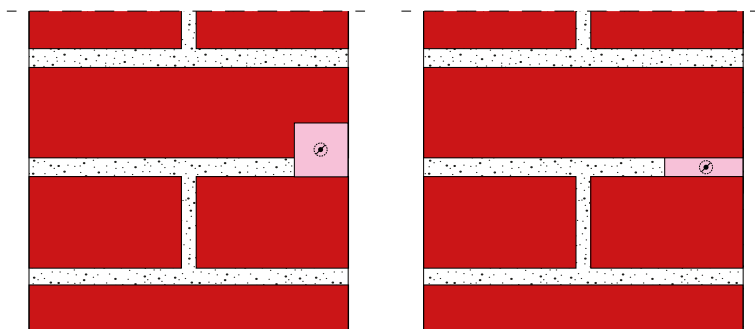
## Spoj mezi zdívem a helikální výztuží – forma drážky ve zdívu

Kontaktní plocha mezi speciální maltou a zdívem je určující velikostí pro adhezivní soudržnost mezi oběma stavebními látkami. Čím větší je tato plocha, tím účinnější je daný spoj. V podstatě existují dvě možnosti pro formu drážek v průřezu (Obr. 54):

- Jako drážka je použita pouze štěrbina. Hloubka drážky je o něco větší.
- Drážka je zavedena do štěrbiny a přilehlou vrstvu kamene. Hloubka drážky je menší, ale objem malty může být o něco větší.

Bohužel jsou kontaktní plochy co se týče přilnavosti posuzovány rozdílně (Obr. 55). Proto je definována efektivní oblast působnosti malty. Ta se vztahuje na kontaktní plochy mezi zdívem a speciální maltou. Efektivní oblast působnosti je součet kontaktních linií s odlišným ohodnocením. Z dosavadních výsledků pokusů je doporučeno,

- vertikální plocha jen do 50% a
- horní horizontální plochu nezahrnovat.



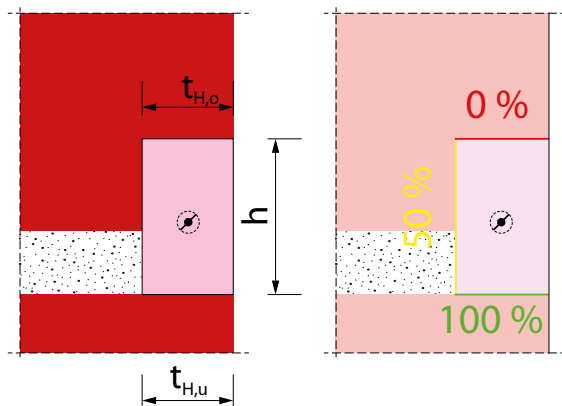
Obr. 54: Dvě varianty pro přípravu štěrbin.

Za použití obrázku 55 platí:

$$18 \quad U = t_{H,u} + 0,5 \cdot h + 0 \cdot t_{H,o} \geq 50 \text{ mm}$$



U vrchní horizontální plochy nebyla i za laboratorních podmínek na vícero zkušebních vzorcích téměř žádná vazba. Proto musí tato plocha zůstat pro vazbu mezi zdívem a speciální maltou nepovšimnuta.



Obr. 55: Detail proužku malty, účinnost vazby rozdílných ploch proužku malty ke zdivu v procentech

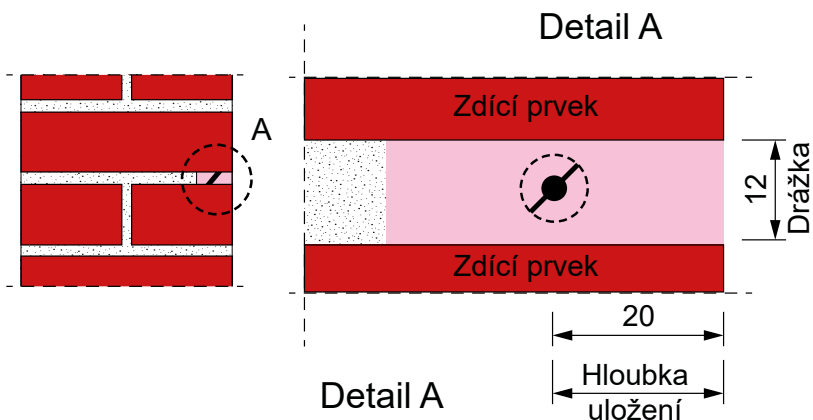
Srovnáme-li obě formy zlomu podle obr. 54 za použití doporučení, pak je řezání otvoru vhodnější forma, protože má největší dobrou vazební plochu. Potřebuje ovšem větší hloubku drážky než jiné, kompaktní formy. V zásadě platí, že štěrbinu musí mít vůči zdivu minimální účinnou kontaktní plochu 50 mm šířky podle rovnice 18 násobeno s koeficientní délkou podle odstavce 6. 4.

Pomocí velikostí okrajů štěrbin je rozhodnuto o účinnosti ukotvení helikální výztuže. Účinná oblast štěrbin musí být minimálně 50 mm (Obr. 55).



Doporučena je minimální hloubka položení 20 mm u spárové štěrbině (Obr. 56). To je odstup od venkovní plochy stěny (bez omítky) až k ose helikální výztuže. Výška štěrbině (=šířka spáry) o 12 mm je dostatečná u takovéto hloubce pokládání (Obr. 56).

Opatření proti korozi nejsou pro helikální výztuž nutná. 15 mm u kompaktní formy, která je ořezaná s ložnou spárou do sousední vrstvy kamene (Obr. 54 vlevo).



Obr. 56: Minimální hloubka pokládání helikální výztuže  $\geq 20$  mm

#### 6.4 Délka ukotvení

Helikální výztuže působí při pokládání přes trhlinu, ve které zabraňují pohybu okrajů trhliny. Kvůli její snížené průřezové ploše a jejímu sníženému modulu elasticity mohou při zatížení v tahu pružit a trochu trhlinu dočasně znovu otevřít. Kotevní délka musí být vyměřena tak, aby tahová síla mohla být vedena do zdiva při v úvahu přicházejícím napínání helikální výztuže. Směrodatný pro kotevní délku je poněkud slabší spoj mezi speciální maltou a kamenem.

Čím větší je síla v helikální výztuži, tím dále musí být zakotvena ve zdivu. Z praktických důvodů se odkoukává odlišení kotevních délek v závislosti na očekávaném namáhání. Při nuceném namáhání se nepochítá se zátěží, ale přednostně s nuceným natahováním. Běžné natahování helikální výztuže do 2 mm/m pokrývá až na velmi nepatrné poměry helikální výztuže  $\rho = A_{\text{Spir}}/A_{\text{M}}$  (plocha helikální výztuže/ příslušná tahová plocha zdiva) všechny prakticky se vyskytující případy. Pro to platí kotevní délky dle *tabulky 8*, která se opírá o *tabulku 3*. Dokud nejsou k dispozici žádná systematická a spolehlivá zkoumání, budou k použití doporučovány tyto hodnoty.

Mauerstein		Verankerungslänge [mm] für			
		allgemein	$d_N = 6 \text{ mm}$	$d_N = 8 \text{ mm}$	$d_N = 10 \text{ mm}$
Mauerziegel	Mz	$30 \cdot d_N$	180	240	300
Hochloch- und Leichtlochziegel	HLz, LHLz	$30 \cdot d_N$	180	240	300
Kalksandsteine	KS, KS L	$50 \cdot d_N^{1)}$	300	400	500
Leichtbetonsteine	Hbl, V, Vbl	$30 \cdot d_N$	180	240	300
Porenbeton	PB	$80 \cdot d_N^{1)}$	480	640	800

Tabulka 8: Délky kotvení v závislosti na jmenovitém průměru

1) Kvůli nízkým tahovým silám byla délka o něco snížena

Délka helikální výztuže se odvozuje přímo kotevní délky. Minimální délka je právě dvojnásobkem kotevní délky podle *tabulky 8*. Porucha spoje na obou stranách trhliny není vlastně žádná kotevní délka. Jednoduchost je obsažena v hodnotách *tabulky 8*.

Minimální délka tyče L pro jednotlivou trhlinu činí  $L = 2 \cdot$  kotevní délka l.  
U více helikálních vztuží přes sebe k tomu přichází zapuštění od 100 do 200 mm.

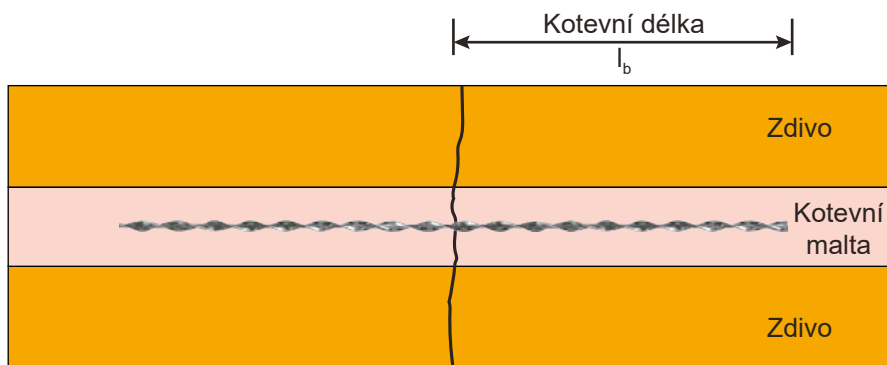
Na *Obr. 57* je to znázorněno ve schématu. Zpravidla leží více helikálních výztuží jako skupina jedna přes druhou. Proto jsou osazeny konce trochu proti sobě, aby začátek zavedení síly do helikální výztuže neležel v jedné přísmce. Proto jsou helikální výztuže o 100 až 200 mm delší (*Viz obr. 50*).

U zdíva, které není jmenováno v *tabulce 8*, se musí odhadnout adhezivní pevnost ve smyku s odkazem na hodnoty v *tabulce*. To se týká především přírodní kamenné zdíva. Určující pro volbu je spoj mezi maltou a kameny. Když jsou porézní, je možné těsnější spojení než u kamenů s velmi tlustou strukturou.



Kotevní délky jsou závislé na typu kamene. Ty jsou k převzetí z *tabulky 8*.

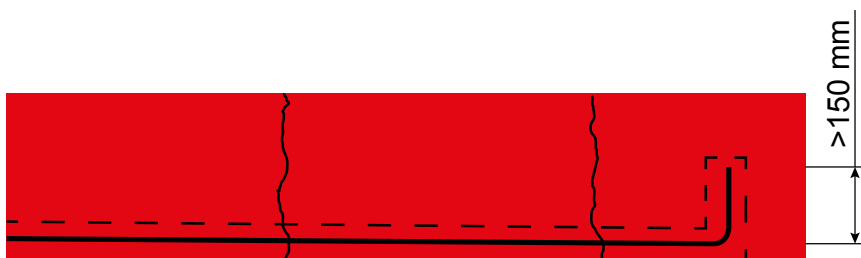




Obr. 57: Minimální kotevní délka z obou stran trhliny určuje minimální délku výztuže

U zdiva z přírodního kamene mohou být k lepšímu spojení malty se zdivem vypracovány malé nepravidelnosti do šířky drážek a mohou být zapojeny do spár. Tím vzniká ozubení, které podporuje spoj.

Když leží trhlina tak blízko rohu, že zde není dostatečné místo pro ukotvení, může být tyč ukotvena také skrz pravouhlé ohnutí a odpovídající vrtání pravouhle k ploše stavebního dílu (Obr. 58). Ohnutí má být dlouhé minimálně 150 mm a být zapuštěno ze všech stran do kotevní malty.



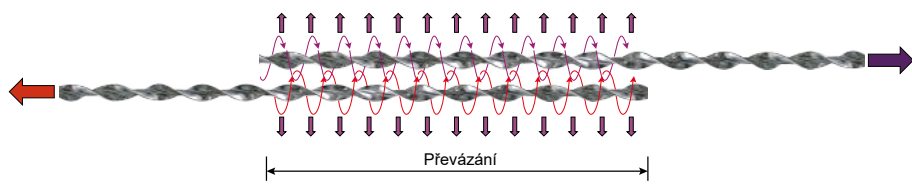
Obr. 58: Ukotvení při příliš krátké délce zdi (horizontální průřez skrz stěnu s helikální výztuží).

## 6.5 Spoje

Spoje helikálních výztuží jsou potřebné, když je délka instalovaných kotev větší než požadovaná délka nebo než je část fasády s lešením nebo také z důvodů ovladatelnosti. To se vyskytuje jen u více paralelních trhlin, které mají být společně zafixovány pomocí helikálních výztuží (viz např. *obr. 66*).

Spoje jsou vybudovány jako spoje přesahem. Vznikají, když jsou tyče pokládány hustě k sobě, ale ze všech stran jsou vloženy do malty a přitom jsou dodrženy jako přesahové délky kotevních délek podle *tabulky 8*. V oblasti spojů jsou potřebné hlubší nebo vyšší štěrbiny, aby bylo zajištěno všestranné překrytí helikálních výztuží maltou (*Obr. 56*). Tyče smí být položeny těsně při sobě, když je zajištěno všestranné obložení případně vkládání helikální výztuže do malty také v oblasti spojů.

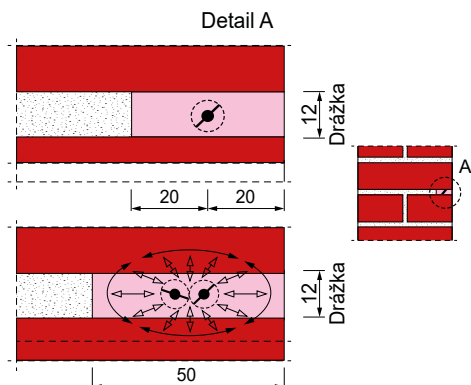
Ve spoji s přesahem vzniká komplikovaný stav napětí, v jehož následku je tahová síla v helikální výztuži vedena přes maltu do sousední helikální výztuže. Na *Obr. 59* je to zjednodušeně představeno.



*Obr. 59: Kotevních délek ve spoji s přesahem.*

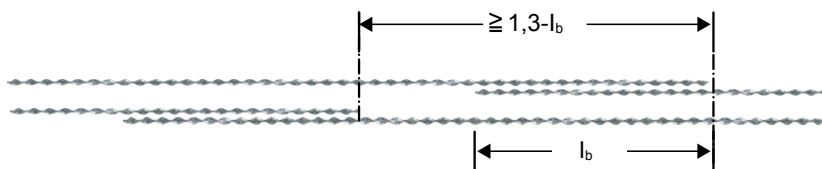
Tahová síla např. z levé strany (červeně) bude zakotvena v maltě. Tím vznikne kolem tyče spirálovité tahové a tlakové napětí. Paralelně k tomu existují protiběžné spirálovité tahové a tlakové napětí ze druhé strany (vlevo, modrá). Stav napětí zde má na jednotlivých helikálních výztužích stejnou formu jako na *Obr. 33*. Odlišuje se pouze tím, že dva takovéto stavy napětí v bezprostředním sousedství působí protiběžně.

Tlakové síly působící ven jsou znázorněny na *obr. 59* nahoře a dole fialově. Působí prostorově do všech stran. Způsobují spirálovité, prstencovité tahové napětí, které mají v průřezu (*Obr. 59 a obr. 60*) eliptickou formu. Vinou se prostorově jako spirála kolem helikální výztuže. Tyto tahové napětí kolem helikální výztuže vyžadují dostatečné překrytí maltou. Na *Obr. 60* je pro to zadáno horizontální měřítko 50 mm, které musí být dodrženo. V případě pochyb může být navýšeno. Ve svislém směru mohou se mohou paprskové tlakové síly podepřít proti nyníjšímu zdívu.



Obr. 60: Stěna v průřezu s radiálními tlakovými a eliptickými tahovými silami

Zpravidla leží vícero helikálních výztuží paralelně k sobě ve stěně. Když musí být sraženy, nemějí být zařazeny do jedné linie, ale stupnovitě překládány. Minimální odstup sousedících míst styku by měl být minimálně 1,3 násobku délky ukotvení (Obr. 61).

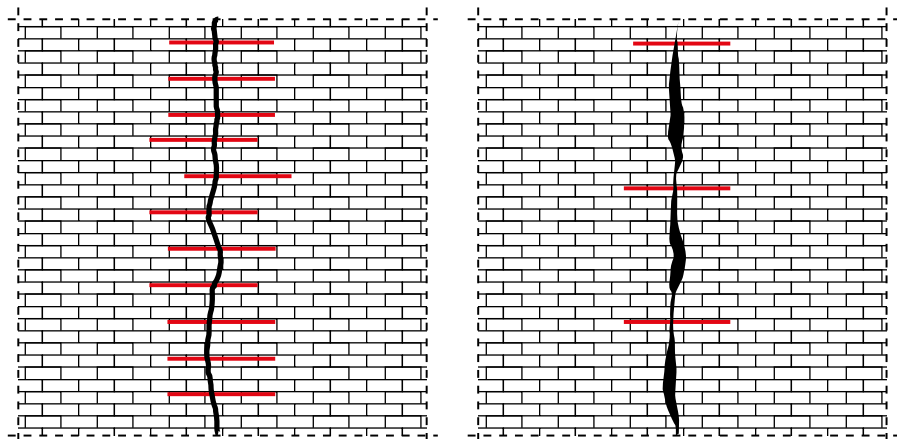


Obr. 61: Využití míst styku.

## 6.6 Největší a nejmenší rozestup mezi helikálními výztužemi

Odstupy helikálních výztuží mají být zvoleny tak, aby mohl probíhat přibližně neustálý přenos tahové síly přes trhlinu, aniž by se mohly okraje trhliny mezi helikální výztuží zdeformovat. Jinak by se mohla trhlinu mezi helikální výztuží při novém natahování stavebního dílu částečně otevřít, např. Skrz ochlazení stavebního dílu oproti podmínkám v době opravy. Proto je doporučován větší přípustný odstup tyčí u trhliny:

- pro jmenovitý průměr 8 a 10 mm to je 300 mm, když to nedovoluje odstup ložných spár, může být ten největší odstup navýšen na 400 mm
- pro jmenovitý průměr 6 to je 250 mm případně u příliš velkého odstupu ložných spár až 300 mm



Obr. 62: Nejvyšší odstup zabraňuje obnovenému otevření trhliny mezi helikálními výztužemi (schematicky).

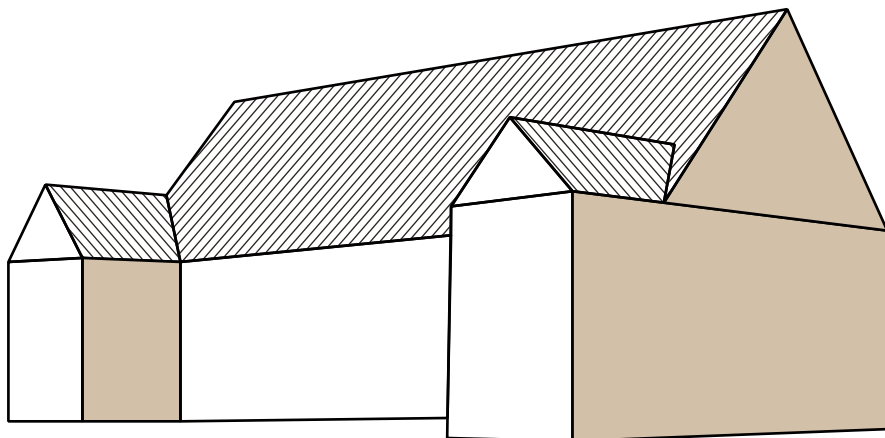
Na obr. 62 jsou schematicky představeny možné následky příliš velkého odstupu helikálních výztuží. Trhlina se může mezi helikálními výztužemi znovu znatelně a viditelně otevřít. Možné odstupy výztuží jsou ovlivněny odstupem spár v Rastersprüngen. V případě pochyb by měly být zvoleny raději menší, protože tak bude dosaženo přibližně rovnoměrnému přenesení zátěže případně rozdělení roztahování.

Nejmenší odstupy nemusí být uváděny. Vyplývají z rozestupů ložných spár.

## 6.6 Jednotlivá trhlina a skupina trhlin

Trhliny ve stavebních dílech vznikají jak samostatně, tak ve skupinách. Jednotlivá trhlina je zafixována krátkou helikální výztuží za dodržení největších odstupů. Přitom mají být sousedící helikální výztuže přidány proti sobě, aby tahová síla nebyla přiváděna do zdva skokově (např. obr. 50). Délka helikální výztuže je rovna dvojnásobku kotevní délky podle tabulky 8 včetně délky od 100 do 200 mm, aby mohly být konce přeloženy proti sobě.

U vícero paralelních trhlin v jedné stěně se doporučuje zafixovat je dohromady společně. To znamená helikální výztuž by měla být tak dlouhá, aby mohla být vedena přes vícero trhlin. To má tu výhodu, že se rozpínání zdva nepřetržitě rozděluje a délky ukotvení jsou nezbytné pouze na koncích tyčí.



Obr. 63: Perspektivní vyobrazení hlavní fasády radnice obrácené na jih (schéma).

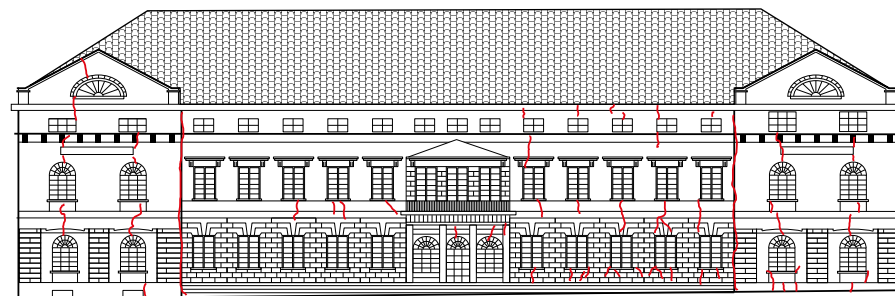
Jako příklad zde slouží 190 let stará radnice (obr. 63, obr. 64), která má na všech fasádách markantní trhliny, které vedení města nechce nadále akceptovat. Jako nejdůležitější prostředek k opravě potrhané fasády byly naplánovány helikální výztuže. Tvar budovy je schematicky představen na obr. 63.

Jižní fasáda se vstupním portálem je vidět i včetně trhliny na obr. 64. Oba postranní štíty patří k částem budovy, které byly posunuty dopředu o cca 7,50 m přes zbývající fasádu (rizalitu). Obě vertikální trhliny na spoji rizalitu / hlavní budovy přes celou výšku stěny jsou přičítány sedání následkem stavebních prací před budovou před pár lety a nebyly dále vysvětleny. Byly zafixovány konstruktivním připojením obou sousedních čistí budovy. Oba štíty rizalitu jsou široké 11,60 m a mají své trhliny nezávisle na fasádě ležící mezi tím.

Příčiny trhlin mohou být po tolika letech používání rekonstruovány pouze neúplně. Z více než 100 let starých podkladů o tomto stavebním dílu můžeme vyrozumět, že jedna část trhliny byla zpozorována již v 19. století. Díky stáří budovy můžeme vyjít z toho, že už prakticky žádné deformace smrštěním nebudou probíhat. Také sedání způsobené stavebními pracemi v poslední době už mezitím doznělo a nepřispívá už více k posunu okrajů trhliny.

V budoucnu očekávané pohyby okrajů trhliny budou určeny působením teplot. Přitom se chovají jednotlivé části budovy rozdílně. Horizontálnímu rozpínání venkovní zdi teplotou bude zabráněno především na soklu stěny a o něco méně na stropu, protože změny teplot nadzemních částí stěn jsou jen utlumeny a časově posunuty. Toto zabránění vede při ochlazování k horizontálně orientovanému tahovému napětí ve stěně, které způsobuje vertikální trhliny. Do budoucna je kvůli působení teplot nadále očekáváno rozpínání, které namáhá helikální výztuž.





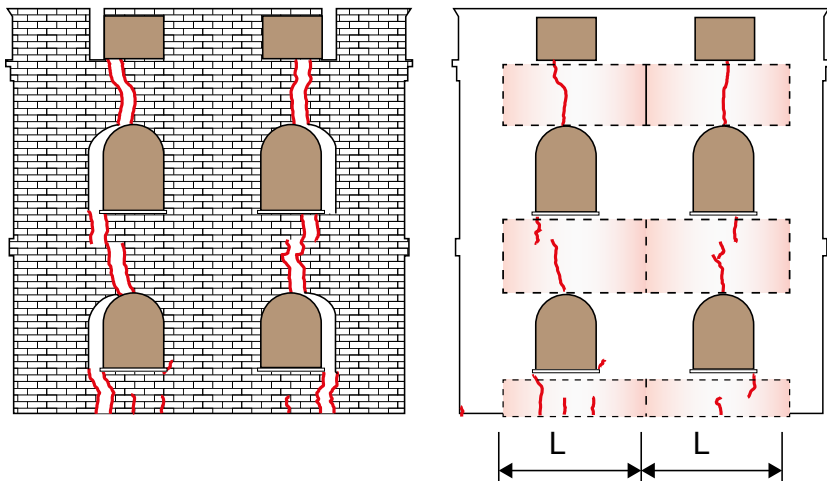
Obr. 64: Hlavní fasáda radnice s obrázkem trhliny (jižní fasáda).

Štítové stěny rizalitu jsou se svými 11,60 m šířky v porovnání k jejich výšce cca 13 m relativně chatrné. Bez okenních otvorů by byly trhliny očekávány především v dolní oblasti stěny. Jelikož ale okenní otvory znamenají průřezové oslabení asi 40% oproti horizontálnímu tahovému napětí, může se trhlinka začínající na úpatí stěny otevřít až ke střeše. K tomu došlo u obou rizalitů přibližně stejným způsobem. Obrázek trhliny východní fasády rizalitu je představen jako schéma na obr. 65 i s možnostmi pohybu okrajů trhliny a s délkami rozpínání po opravě prostřednictvím helikální výztuže.

Vlevo na obrázku je otvor trhliny při ochlazení. Vpravo jsou uvedeny oblasti vlivu trhliny s délkou roztahování  $L$ , jejíž teplotně podmíněné roztahování způsobí změnu šířky trhliny po opravě. Když se zabrání nucenému rozpínání pomocí vložené helikální výztuže, potom úplně nezmizí, ale je vedeno částečně na zdivo přilehlé trhlíně. Přichází v úvahu dva účinky:

- rozpínání zdiva v nepotrhaných oblastech mezi trhlínami
- rozpínání helikální výztuže v zóně bezprostředně u trhliny, která je spojeno s malým otevřením trhliny.

Když leží trhliny relativně hustě u sebe, jako v tomto případě, potom jsou helikální výztuže vedeny přes tyto trhliny. Na obr. 66 je uvedené vedení helikální výztuže právě pro tento případ. Vznikají horizontální „tahové pásky“, kterými je kompenzováno rozpínání zdiva a helikální výztuže očekávané v důsledku teplotních změn. Tomuto rozpínání není zabráněno, ale je přesunuto. Co je chápáno bez helikální výztuže jako změna šířky trhliny, působí po opravě jako rozpínání zdiva a helikální výztuže. Přitom se trhliny mohou znovu o trochu otevřít.

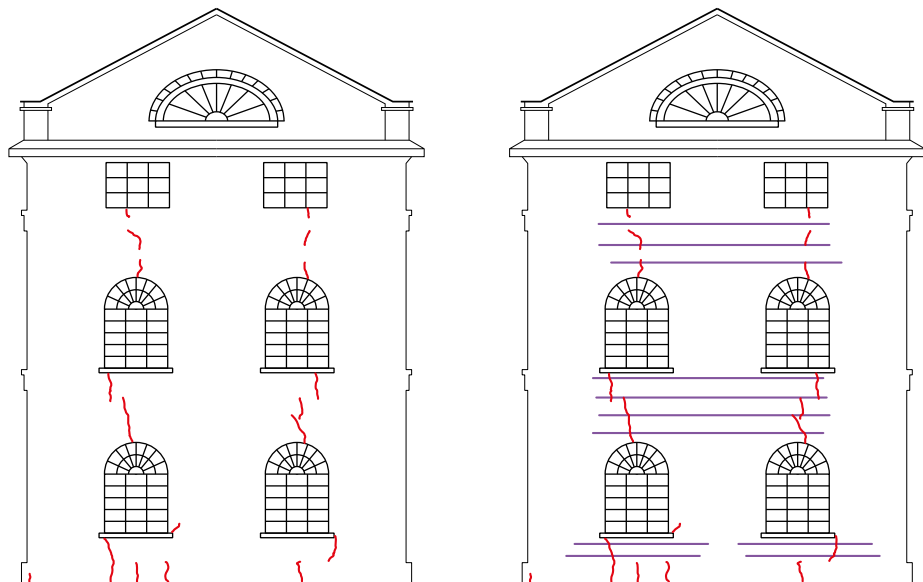


Obr. 65: Posunutí okrajů trhliny (vlevo) a k tomu příslušná délka rozpínání (vpravo), schematicky.

Ve střední části fasády hlavní budovy (obr. 64) je vidět rozdílné obrázky trhliny mezi západní (vlevo) a východní stranou (vpravo). To souvisí se zastíněním západní části skrz západní rizalit. Začíná vrhat stín na západní část střední fasády už v poledne, tento stín pokrývá s postupující hodinou stále větší část fasády posazené více vzadu. Východní část je vystavena bez zábran slunečnímu svitu a trpí v poledním a odpoledním slunci na větší rozpínání, které také podmiňuje větší posuny okrajů trhliny.



Vícero paralelních trhlin může být přemostěno společně pomocí delší helikální výztuže. Vyztužení skupiny trhlin stabilizuje průběh napětí ve stěně.



Obr. 66: Obrázek trhliny (vlevo) a zařazení helikální výztuže (vpravo).



## 7. Příklady vyměření

### 7.1 Jednotná trhlina ve zdi z cihel

Štítová stěna ukazuje dlouhou, vertikálně orientovanou trhlinu. V *obrázku 50* a v *obrázku 67* (s tažnou délkou) je znázorněna na fotce. Příčina trhliny je v chybějící horizontální výztuži domu. Není tam ani ztužující věnec, ani dřevěné trémové stropy nebyly vyztuženy táhovou kotvou. Tím se štít v důsledku působení teplot může roztahovat. Zpětná deformace postihuje krytí a vnitřní zdi.



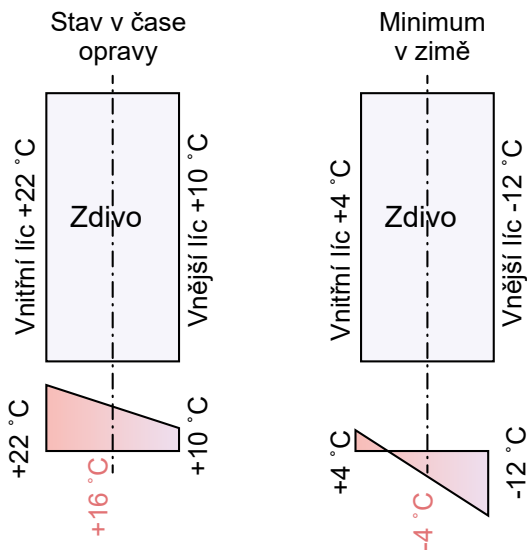
Obr. 67: Jednotná trhlina ve štítu (obkreslená), odhadovaná tažná délka  $L$  je zakreslena

Štítová zeď má tloušťku 1 a půl cihly a skládá se z plných cihel v normálním formátu s vápennou maltou (MG II). Dovolená početní hodnota šířky trhliny je 0,2 mm.

## Řešení

### Výchozí hodnoty pro výpočet

- **Pružný modul zdiva na horizontálním tahu.** Pro starší cihlové zdivo neexistují žádné známe mechanické charakteristiky. Pro odhad bude použit odstavec 5. 3. Z obrázku 47 můžeme odhadnout tahový-pružný modul o velikosti  $3000 \text{ N/mm}^2$ .
- **Tažná délka zdiva.** V předloženém případě je tažná délka v průběhu trhliny různé velká. Protože velké tažné délky způsobují menší šířky trhlin, bude zvolena paralelně krátká tažná délka k oknu, v 1.nadzemním podlaží. Tím se vypočítá větší hodnota šířky trhliny. Tažná délka je v *obrázku 67* pro oblast okna v podlaží žlutě znázorněna. Je cca 1,5 m dlouhá a je aplikovaná jednotná pro celou délku trhliny. Používáme diagram  $EM=3000\text{N/mm}^2$  a pro tažnou délku  $L=1,5 \text{ m}$  (odstavec 8.2)
- **Nucené tažení** vyvstává z teplotní změny zdi (*obr. 68*). Výchozí bod je střední teplota zdi v době opravy. Průměrná venkovní teplota vzduchu v době opravy se bere  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při vnitřní teplotě  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  rovná se střední teplota zdi v době opravy  $22 \text{ }^\circ\text{C} - (22-10)/2=16 \text{ }^\circ\text{C}$ . V zimě může průměrná venkovní teplota překročit za delší čas cca  $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pro vnitřní teplotu v zimě se musí zohlednit, že dům může nějaké týdny stát nevytopený.



Obr. 67: Teploty zdiva pro početní model

V tomto případě je vnitřní teplota +4 °C. To odpovídá střední teplotě zdi 4-(4-(-12))/2=-4 °C. Teplotní rozdíl pak bude v době opravy v zimě 16-(-4)=20 °C.

Podle obr. 14 se počítá s tepelným roztažením 0,06 mm na 10 K. V předloženém případě je zde ještě nucené tažení po opravě.

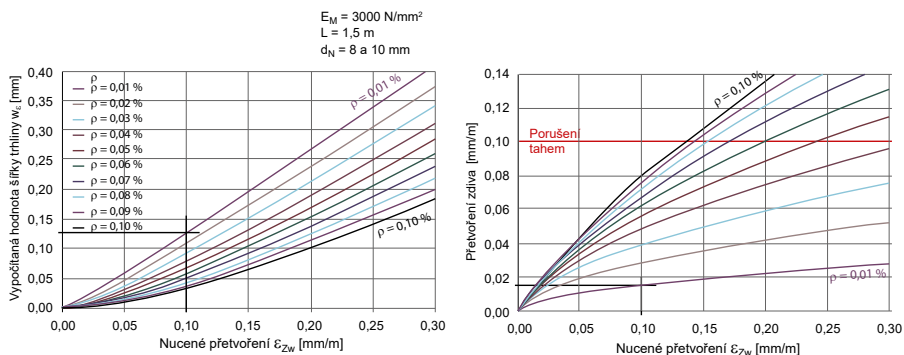
0,06-20/10=0,12 mm/m

Omezení roztažení je z 80%. V důsledku toho je početní hodnota nuceného tažení

$$\epsilon_{Zw} = 0,08 \cdot 0,12 \approx 0,1 \text{ mm/m}$$

Používá se diagram EM= 3000N/mm<sup>2</sup> a L=1,5 m (obr. 69). V diagramu je ukázáno, jak se došlo k odečteným hodnotám. Pro zeď širokou 1 a půl cihly se obdržely následující výsledky:

- S nejmenším udaným vztahem helikální výztuže  $\rho = A_{\text{Spir}}/A_M = 0,01\%$  OBNÁŠÍ POČETNÍ HODNOTA ŠÍŘKY TRHLINY  $W_k = 0,13 \text{ mm} < 0,20 \text{ mm}$ .
- Roztažení zdiva je 0,015 mm/m, což je mnohem menší než mezní protažení 0,1 mm/m. To znamená žádné riziko vzniku nové trhliny. Když helikální výztuž po opravě během působení nuceného tažení tahového napětí přijme a ty odvede do zdiva.
- Vztah helikální výztuže je nejmenší hodnota v diagramu  $\rho = A_{\text{Spir}}/A_M = 0,01$ . Potřebná helikální výztuž se může z tabulky 10 pro 1a půl cihly široké zdi s nominálním průměrem dN = 10 mm nebo dN=8 mm přímo odečíst. Mezera helikální výztuže: 400 mm do 500 mm, to je rozměr největších mezer helikálních výztuží.



Obr. 69: Měřicí diagram pro početní příklad jednotné trhliny.

## Výsledek

Do každé 4. vodorovné spáry ve zdivu se vloží helikální výztuž o nominálním průměru  $d_N=8$  mm. Délka helikální výztuže činí podle *tabulky 8*.

$$2 \cdot 30 \cdot 8 + 100 \text{ mm} = 480 + 100 \approx 600 \text{ mm}$$

Helikální výztuže jsou oproti sobě o 100 mm zasazeny.

## 7.2 Jednotná trhлина v štítové stěně staré průmyslové haly.

### Úkol

V jedné mnoho let nepoužívané průmyslové hale se nachází vertikální trhлина na vnější zdi. Nahoře je širší než dole a to pravděpodobně díky nerovnoměrnému sedání. Na obrázku 70 je viditelné že podélná zeď se vychýlila vlevo. Sedání doznívala, takže se trhлина měnila se střední teplotou stavby a pod atmosférickými vlivy.

Zeď je široká 1a půl cihly, takže 380 mm podle starého měření cihel. Tím že teplotní změny působí dnes a denně, mění se šíře trhliny v závislosti na ročním období. Opravná opatření jsou pro početní hodnotu šířky trhliny 0,3 m počítána. V obrázku 70 je také znázorněna tažná délka L.



Obr. 70: vertikální trhлина  
v štítové zdi  
s danou délkou  
 $L = 6 \text{ m}$

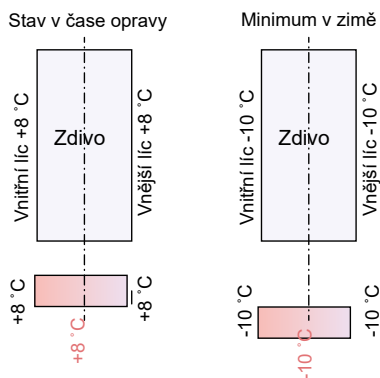


## Řešení

### Výchozí hodnoty pro výpočet

- **Pružný modul zdiva na horizontálním tahu.** Pro cihlové zdivo neexistují žádné známe mechanické charakteristiky. V předloženém případě se jedná o dobré cihly (plné cihly v normálním formátu) a malty skupiny II. P. Z obrázku 47 můžeme odhadnout tahový-pružný modul o velikosti  $7000 \text{ N/mm}^2$ .
- **Tažná délka zdiva.** Bude odhadnuta podle obrázku 70. K tomu je použita páska nad a pod oknem přes vstupní dveře jako nejmenší tažná délka. Označená tažná délka je 6,0 m. Není z obou stran trhliny stejně velká. Používáme diagram  $EM=7000\text{N/mm}^2$  a pro tažnou délku  $L=6 \text{ m}$

**Nucené tažení** vyvstává z teplotní změny zdi. Tím, že se hala nevytápí v zimě, jsou střední teploty venkovního vzduchu jen trochu větší, potažmo menší než střední teploty zdiva. Výchozí bod je střední teplota zdi v době opravy. Trhlina by se měla opravovat v době pozdního podzimu, kdy je teplota  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , což odpovídá střední teplotě zdiva. Průměrná venkovní teplota vzduchu v době opravy se bere  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při vnitřní teplotě  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  rovná se střední teplota zdi v době opravy  $22 \text{ }^\circ\text{C} - (22 - 10) / 2 = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ . V zimě může průměrná venkovní teplota překročit za delší čas cca  $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ . Nejhlubší zimní teplota zdiva se bere  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tím působí střední ochlazování zdi o 18 K. Podle obrázku 14 je nutno vždy počítat s teplotním roztažením o  $0,06 \text{ mm/m}$  na 10 K. V předloženém případě obnáší nucené tažení  $\epsilon_{zw} = 0,06 * 18 / 10 = 0,11 \text{ mm/m}$ . Pro zjednodušení se bude v tomto drobném nuceném tažení počítat s výrazným poškozením.



Obr. 71: Střední teploty zdiva pro příklad

- Platí diagram  $E_M=7000\text{N/mm}^2$  a pro tažnou délku  $L=6\text{ m}$ . V diagramu jsou zakresleny 2 varianty, jak byly odpočtové hodnoty zjištěny. První varianta je oprava v zimě (střední teplota zdiva  $8\text{ }^\circ\text{C}$ , černá linka). Druhá varianta je oprava v létě (střední teplota zdiva  $+22\text{ }^\circ\text{C}$ , modrá linka).

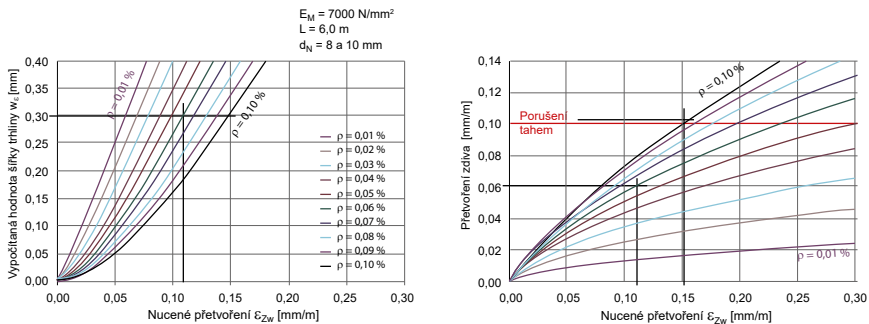
Pro zdivo široké 1a půl cihly se pak obdrží následující výsledky:

- Pro nucené tažení  $0,11\text{ mm/m}$  a početní hodnotu šíře trhliny  $0,3\text{ mm}$  získáme podle užití diagramu charakteristiku helikální výztuže:  
= **0,06%**
- Tažení zdiva při této šířce trhliny je  $0,06\text{ mm/m}$ , což je něco menší než mezní tažení  $0,1\text{ mm/m}$ . Což znamená žádné nebezpečí pro vznik nové trhliny. Když helikální výztuž po opravě během působení nuceného tažení tahového napětí přijme a ty odvede do zdiva.
- Potřebná helikální výztuž se může z tabulky 10 pro 1a půl cihly široké zdi s nominálním průměrem  $d_N=10\text{ mm}$ . Mezera helikální výztuže:  $83\text{ mm}$ , do každé mezery.

## Výsledek

Do každé mezery se vloží helikální výztuž  $d_N=10\text{ mm}$ .

Kotevní délka je  $30 \cdot d_M = 30 \cdot 10 = 300\text{ mm}$ . Délka helikální výztuže pak:  $2 \cdot 300 + 200 = 800\text{ mm}$  s odsazením  $200\text{ mm}$ . V diagramu *obr. 72* je objasněné použití diagramu. Černé linky platí pro příklad nahoře, modré pro následující variantu opravy v létě.



Obr. 72: Měřicí diagram pro početní příklad (oprava v zimě černá linka), oprava v létě modrá linka.

## Úkol

Pro stejnou trhlinu bude teplota opravy 22 °C (stabilní střední teplota zdi). Šířka trhliny zůstává 0,3 mm.

Teplotní rozdíl k minimum stavební teploty činí 22 °C - (-10 °C) = 32 K. To se rovná nucenému tažení  $0,06 \cdot 32/10 = 0,192$  mm/m  $\approx 0,19$  mm/m. S udaným poškozením 80% se měřící hodnota rovná nucenému tažení:  $\epsilon_{zw} = 0,19 \cdot 0,8 = 15$  mm/m.

Z diagramu zjistíme:

Charakteristika helikální výztuže a roztažení zdiva:

$$\rho = A_{\text{Spir}} / A_M = 0,10 \%$$

$$\epsilon_w = 0,1 \text{ mm/m}$$

V *tabulce 10* není pro  $p=0,10\%$  informace o helikální výztuži. To znamená, že nezbytná je ložná spára ve zdivu. To není technicky možné. Kromě toho je velikost roztažení zdiva 0,1 mm/m přesně ve velikosti nuceného tažení zdiva.

I přes odchylku početního zadání existuje nebezpečí, že by v případě tuhé zimy vznikla nová vertikální trhlinka. Zlepšení výpočtu nepotvrdí jistotu, že by se nevytvořila nová trhlinka. Proto se musí vybrat nejjednodušší a nejlevnější cesta a stavebníkům doporučit opravu v chladné části roku.

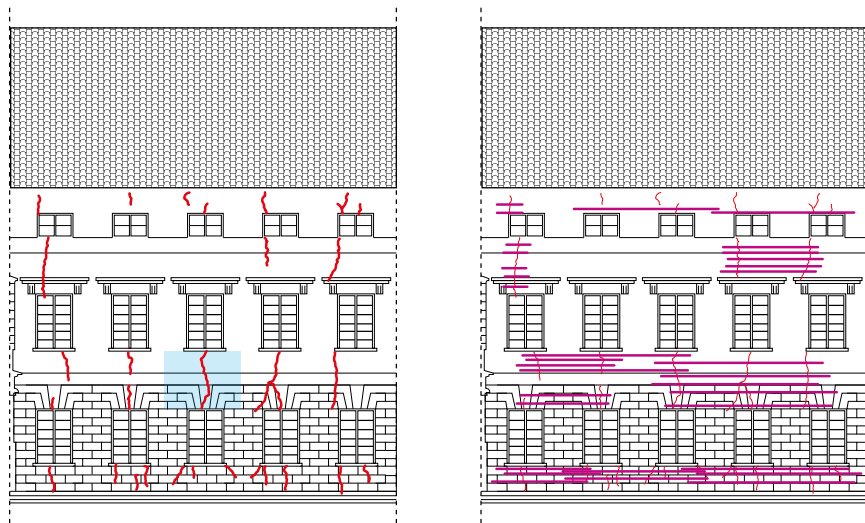
## 7.2 Skupinová trhlinka.

### Úkol

Ve staré radniční budově, která byla vystavěna v první polovině 19.století, vznikly vertikální trhliny, které převažují nad otevíráním oken. (obrázek 64). Příčiny trhlin jsou v dlouhé historii radnice a působení války, které se už nerekonstruovaly. Příčiny trhliny nejsou až do dnes ovlivněny teplotními změnami.

Venkovní zdi jsou 2 cihly široké, takže 510 mm podle starého cihlového měřítka. Protože teplotní změny dnes i v budoucnu budou působit, budou se měnit šířky trhliny v závislosti

na ročním období. V létě budou nejmenší a v zimě největší šířky trhlin. Trhliny se mají vyplnit a fixovat helikálními výztužemi. Oprava se bude měřit pro početní šířku trhliny 0,2 mm.



Obr. 73: Výřez z fasády historické radnice, vlevo délky tažení trhliny.

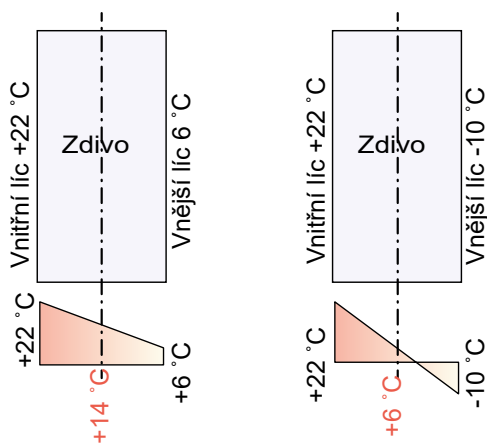
## Řešení

Výchozí hodnoty pro výpočet

- **Pružný modul zdiva na horizontálním tahu.** Pro cihlové zdivo neexistují žádné známe mechanické charakteristiky. Musíme proto vycházet ze známých hodnot. V Odstavci 5.3 jsou k tomu údaje. V předloženém případě byly použity cihly (plné cihly v normálním formátu své doby - cca 1820), což bylo nepatrně větší než v dnešní době. Malta je vápencová malta a odpovídá dnešní maltě skupiny I. Z obrázku 47 můžeme odhadnout tahový-pružný modul o velikosti 2000 N/mm<sup>2</sup>.
- **Tažná délka zdiva.** V tomto případě je tažná délka stejná od středu okna po střed okna. To je úsek, na který se podílí horizontální procházející zdivo s vlastním tažením. Odstup oken je 3,15. Používáme diagram EM=2000N/

- **Nucené tažení** musí být odečteno od teplotních změn.

Výchozí bod je střední teplota zdiva v době opravy. V předloženém případě následuje magistrát doporučení plánovačů, opravovat v zimě, dokud počasí dovolí. Což mírná zima podpoří. Určující teplotní hodnoty jsou k dispozici nejdříve po týdnu stejných středních teplot. Proto by se nemělo vycházet v odhadu z hodnot, které trvají jeden nebo dva dny. Venkovní teplota vzduchu činí asi 6 °C, při konstantní vnitřní teplotě 22 °C, takže střední teplota zdiva pro dobu opravy bude:  $22\text{ °C} - (22-6)/2 = 14\text{ °C}$ .

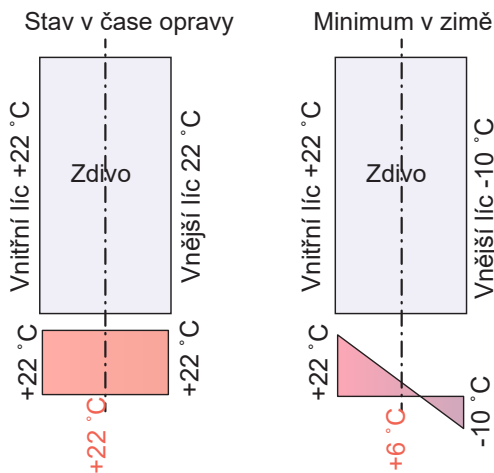


Obr. 74: teplota vzduchu a střední teplota zdiva pro příklad

Nejhlubší, několik dnů trvající teploty jsou cca -10 °C. Při vnitřní teplotě 22 °C bude střední teplota zdiva  $22\text{ °C} - (22-(-10))/2 = +6\text{ °C}$ . Rozdíl mezi střední teplotou stavebních dílů je stejný jako ochlazení:  $T = +14\text{ °C} - 6\text{ °C} = 8\text{ K}$ . Podle obrázku 14 je cihlových stavebních prací teplotní roztažení 0,06 mm/m pro 10 K potřeba připočítat. V předloženém případě je nucené tažení  $0,06 \cdot 8/10 = 0,05\text{ mm/m}$ . Pro zjednodušení se bude u toho drobného nuceného tažení s výrazným poškozením počítat, protože to je dostačující pro očekávaný výsledek. S těmito hodnotami můžeme vyrobiť vhodný diagram. Je to diagram pro  $E_M = 2000\text{ N/mm}^2$  a  $L = 3\text{ m}$  (obr. 76). V diagramu je ukázáno, jak jsme zjistili odečtené hodnoty. Pro zeď širokou dvě cihly získáme následující výsledky:

- S nejmenší charakteristikou helikální výztuže  $\rho = A_{\text{Spir}}/A_M$  von 0,01 % činí hodnota šířky trhliny  $w_E=0,09$  mm. Což je menší než udaná hodnota 0,2 mm.
- Roztažení zdiva v tomto případě šířky trhliny 0,019 mm/m, což znamená méně než mezní tažení 0,1 mm/ m. Tudíž žádné riziko vzniku nové trhliny, když helikální výztuž po opravě během působení nuceného tažení tahového napětí přijme a ty odvede do zdiva.
- Charakteristika helikální výztuže činí nejmenší hodnotu v diagramu  $\rho = A_{\text{Spir}}/A_M = 0,01\%$ . Vhodnou helikální výztuž může být vybrána z tabulky 12 pro zeď širokou 2 cihly s nominálním průměrem  $d_N=10$  mm nebo  $d_N=8$  mm: odstup helikálních výztuží 200 -250 mm, tzn. Každá třetí mezer.

Konstruktivně je nutno dbát, že vedení v pilířích zdi musí vést mezi okny, protože jsou tam lepší podmínky pro ukotvení skrz možnosti otevírání. To také platí, o použití malty. Dá se ale předpokládat, že zásah do zdiva přes štěrbinu vede k zatížení, které zpět přes oblast štěrbin zpět k vyššímu tlakovému napětí vede. Proto větší nárazy způsobují drobné táhnoucí se deformace ve zdivu, které vedou k zatížení zdiva. Proto získává malta s rostoucím odstupem k době opravy tlakové napětí, které je vhodné pro ukotvení helikální výztuže.



Obr. 75: Teplotní chování v létě.

## Propočítání varianty pro opravu v létě

Pro stejné podmínky jako v představeném příkladu má být zjištěno, jak se zobrazí výsledky pro opravu v létě.

Teplota stavby v době opravy je 22 °C. Nejhlubší střední teplota zdiva je nad +6 °C.

Střední teplota zdiva v zimě je  $T = ++22\text{ °C} - 6\text{ °C} = 16\text{ K}$  (ochlazení)

Podle obrázku 14 je cihlová zeď s teplotním roztažením 0,06 mm/m na 10 K s nutností připočítat tuto hodnotu. V předloženém případě je nucené tažení:

$$0,06 \cdot 16/10 = 0,96\text{ mm/m} \approx 0,1\text{ mm/m}$$

Pro zjednodušení se bude u toho alternativního počítání pro drobné nuceného tažení s výrazným poškozením počítat, protože to je dostačující pro očekávaný výsledek.

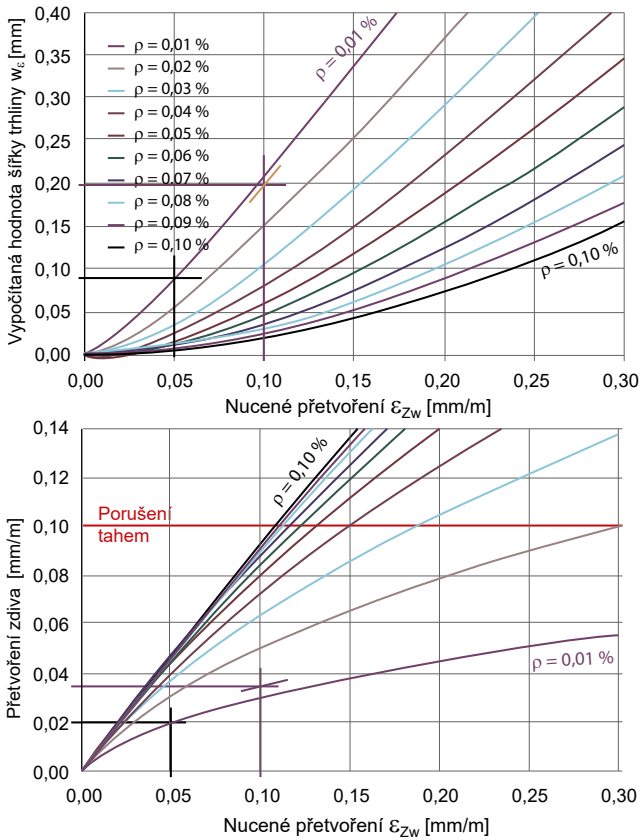
Diagram bude použit stejný jako u předchozího výpočtu.

$F = 3000\text{ N/mm}^2$  a  $L = 3\text{ m}$  - v diagramu je zakreslena odpočtová hodnota. Pro zeď dvě cihly širokou získáme následující výsledky:

- Pro početní hodnotu šířky trhliny 0,2 mm získáme charakteristiku helikální výztuže 0,012%
- Roztažení zdiva je 0,035 mm/m, což je menší než mezní tažení 0,1 mm/m. Neexistuje nebezpečí vzniku nové trhliny po opravě
- Charakteristika helikální výztuže podle diagramu  $\rho = A_{\text{Spir}}/A_{\text{M}} = 0,012\%$ . Vhodnou helikální výztuž vybereme z tabulky 12 pro zeď dvě cihly širokou pro nominální průměr  $dN = 10\text{ mm}$ :
- Odstup helikálních výztuží: 250 mm, tzn. Každá 4. řada

Je potřeba poznat potřebu více helikálních výztuží. Je vhodné brát v potaz, že v prvním propočtu (oprava na podzim nebo v zimě) není dosaženo početní hodnoty šířky trhliny, zatímco v druhém výpočtu ano.

$E_M = 2000 \text{ N/mm}^2$   
 $L = 3,0 \text{ m}$   
 $d_N = 8 \text{ a } 10 \text{ mm}$



Obr. 76: měřicí diagram pro početní případ (černá linka) a srovnávací počet (modrá linka)