

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Měření geometrické přesnosti pravých
úhlů místností**

Tomáš Mrázek

2017

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Linda Veselá, Ph.D.

**Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně
pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované
literatury.**

V Praze

.....

Tomáš Mrázek

Poděkování

Děkuji Ing. Lindě Veselé, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracovávání bakalářské práce.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Mrázek	Jméno: Tomáš	Osobní číslo: 423744
Zadávající katedra: Katedra technologie staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Měření geometrické přesnosti pravých úhlů místností	
Název bakalářské práce anglicky: Geometric accuracy of room angles	
Pokyny pro vypracování: Stanovení postupů pro měření pravých úhlů místností, porovnání přesnosti jednotlivých postupů, stanovení skutečných odchylek pravých úhlů místností s dokončeným povrchem.	
Seznam doporučené literatury: Technické normy	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Linda Veselá, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Anotace

Měření geometrické přesnosti pravých úhlů místností

Autor se v bakalářské práci zabývá geometrickou přesností ve stavebnictví. Kromě uvedených obecných zásad navrhování a kontroly geometrické přesnosti se podrobně věnuje měření geometrické přesnosti pravých úhlů místností. Podle norem ČSN autor stanovuje předepsané požadavky na přípustné odchylky. Autor během studie norem ČSN dochází ke zjištění, že české normy neobsahují kontrolní postupy měření pravých úhlů. Na základě zahraničních norem autor stanovuje metody postupu měření a porovnává jejich výhody a nevýhody. Je provedeno jedno kontrolní měření. V bakalářské práci jsou uvedeny výsledky měření, porovnání naměřených odchylek s příslušnými požadavky na geometrickou přesnost pravých úhlů a vyhodnocení.

Klíčová slova:

geometrická přesnost, pravý úhel, postupy měření, úhlová odchylka

Annotation

Geometric accuracy of room angles

In the bachelor thesis, the author deals with the geometrical accuracy in the construction industry. Apart from the general principles of designing and checking the geometrical accuracy, the author studies in detail the geometric accuracy of the right angles of rooms. According to CSN (Czech National Standards), the author specifies the prescribed tolerance requirements. When studying CSN standards, the author discovers that these standards do not contain the control procedures for measuring right angles. The author defines the methods of measurement on the basis of foreign standards, compares their advantages and disadvantages and takes one check measurement. The bachelor thesis presents the results of the measurement, the comparison of the measured deviations with the corresponding requirements for the geometric accuracy of right angles and the evaluation.

Keywords:

geometric accuracy, right angle, measurement procedures, angular deviation

OBSAH

ÚVOD	8
1 GEOMETRICKÁ PŘESNOST STAVEB	10
1.1 Základní pojmy	12
1.2 Soustava norem geometrické přesnosti.....	14
1.2.1 Základní normy souboru	14
1.2.2 Normy pro navrhování	15
1.2.3 Normy realizačních procesů.....	15
1.2.4 Normy pro kontrolu a hodnocení	16
1.3 Navrhování geometrické přesnosti	17
1.3.1 Funkční požadavky	17
1.3.2 Zásady a postup navrhování.....	18
1.3.3 Kontrola přesnosti	19
1.4 Kontrola geometrické přesnosti a záznamy měření.....	19
1.4.1 Kontrola geometrické přesnosti	19
1.4.2 Záznamy měření.....	20
2 GEOMETRICKÁ PŘESNOST PRAVÝCH ÚHLŮ MÍSTNOSTÍ.....	21
2.1 Pravoúhlost svislých konstrukcí	21
2.2 Požadavky na geometrickou přesnost pravých úhlů	22
2.2.1 Požadavky na přesnost z hlediska navrhování	22
2.2.2 Požadavky na přesnost z hlediska provádění	23
2.2.3 Požadavky na geometrickou přesnost pravých úhlů – shrnutí.....	25
2.3 Postupy měření přesnosti pravých úhlů.....	25
2.3.1 Měřicí body	26
2.3.2 Měření pravoúhlosti stěn geodeticky	27
2.3.3 Měření pravoúhlosti stěn pomocí pravoúhlého trojúhelníku	28
2.3.4 Měření pravoúhlosti stěn pomocí rotačního laseru	30
2.3.5 Měření pravoúhlosti stěn pomocí měření úhlopříček.....	31
2.3.6 Postupy měření pravoúhlosti stěn - shrnutí.....	34
3 MĚŘENÍ GEOMETRICKÉ PŘESNOSTI PRAVÝCH ÚHLŮ MÍSTNOSTÍ	35
3.1 Zadání	35
3.2 Použitý přístroj.....	35
3.3 Výstupy analýzy pravoúhlosti.....	36
3.4 Výsledky měření.....	37
3.5 Vyhodnocení výsledků	44
ZÁVĚR.....	47
POUŽITÁ LITERATURA	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	50
SEZNAM TABULEK	51

Úvod

Jednou z významných vlastností, které ovlivňují výslednou kvalitu budov a jejich částí při výstavbě i během užívání, je přesnost geometrických parametrů, často označována jako geometrická přesnost staveb. V některých případech je problematika také označována jako tolerance ve stavebnictví.

Geometrická přesnost je jednou z kategorií hodnocení kvality staveb.[13] Geometrická přesnost ovlivňuje významně spotřebu materiálů a práce během zhotovení, ale také má vliv na potřebu a rozsah oprav a údržby budov. Tím se samozřejmě ovlivňuje životnost budov. Podle rozborů u nás i v zahraničí je prokázáno, že nedodržení požadované geometrické přesnosti může dojít k fyzickému a tím i ekonomickému znehodnocení objektu. Vede také k častějším výměnám stavebních dílců a výrobků. Vzhledem k rizikům vyplývajícím z nedodržování geometrické přesnosti bychom neměli tuto disciplínu rozhodně podceňovat a přikládat jí patřičnou pozornost.

Základním předpokladem pro zabezpečení geometrické přesnosti je znalost požadavků na výslednou geometrickou přesnost. To znamená, že musíme vědět, jaká musí být přesnost geometrických parametrů na dokončeném objektu a proč. Tato přesnost pak umožní plnění požadovaných funkcí během celé požadované doby životnosti (z hlediska spolehlivosti, bezpečnosti, trvanlivosti, slučitelnosti-sestavitelnosti, estetiky atd.). Musí tedy být známy tzv. funkční geometrické parametry a jejich hodnoty. Čím jsou vyšší požadavky na funkční parametry, tím se zužují možnosti realizace- výběr variant pro zhotovení. Musí být tedy zváženy možnosti realizačních procesů, tzn. přesnost postupu vytyčení, přesnost použitých dílů, prvků, přesnost osazení. Musíme si tedy zodpovědět otázku, jakým způsobem bude výsledná přesnost dosažena.

U stavebních konstrukcí s nedostatečnou přesností jsou nedokonalosti často vidět pouhým okem i pro laika. Případné vady a nepřesnosti tak odhalíme ihned při předání stavby objednateli. Menší nepřesnosti jsou pak odhaleny různými metodami měření geometrické přesnosti. Prokazování nekvalitního díla je často bohužel přesto velmi problematické. Příčinou této skutečnosti je, že současné normy zabývající se geometrickou přesností jsou často zmatené a nejasné. Pro každou konstrukci a každý materiál slouží jiná norma a každá z nich udává vlastní požadavky na geometrickou

přesnost. Některou konstrukci hodnotí i více norem z různých úhlů pohledu a stává se, že si mezi sebou protirečí. Z důvodu ne příliš jednoduchého prokázání nedostatečné kvality díla se stěžuje uplatnění nároku na kompenzaci, nebo jeho opravu u realizační firmy.

Vzhledem k tomu, že většina norem není závazných, nejsou v této problematice jednotné ani soudy, u kterých spor v mnoha případech končí. [13] Technické normy nejsou závazné a z toho vyplývá, že ani soud nemá k dané problematice jednotný přístup. Soud může zvolit dva přístupy. Buď bude požadovat po zhotoviteli vysvětlení a doložení, proč dílo neprovedl podle dané normy, nebo bude chtít po investorovi vysvětlit a doložit, proč je nutné konstrukci provést s danou přesností.

Jedním z důležitých parametrů geometrické přesnosti je pravoúhlost svislých konstrukcí. V této práci zmíním obecné informace o geometrické přesnosti staveb a poté se zaměřím právě na problematiku tohoto parametru. Porovnáám požadavky pro navrhování a provádění konstrukcí, uváděné v technických normách. Dále se pokusím na základě analýzy českých norem podrobněji popsat konkrétní metody měření geometrické přesnosti pravých úhlů místností a porovnáám tyto postupy. Nakonec provedu kontrolní měření a porovnáám výsledky s požadavky uvedenými v technických normách.

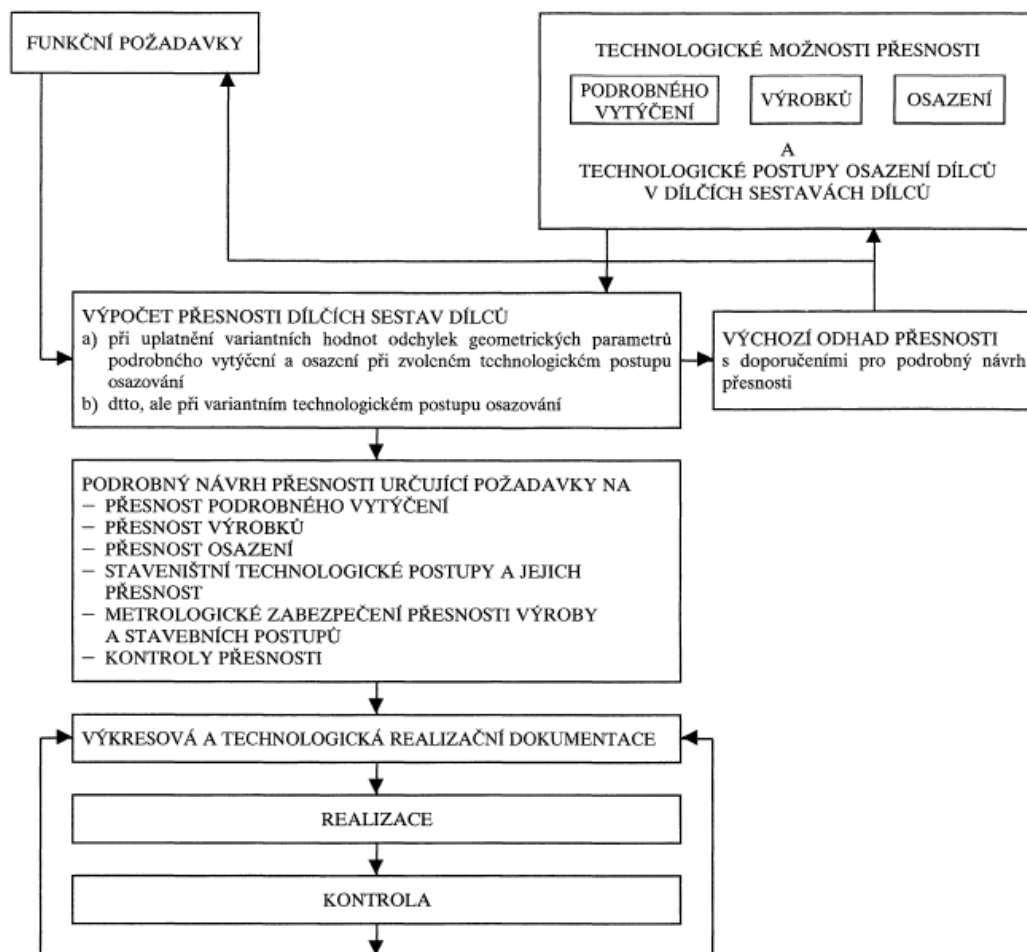
1 Geometrická přesnost staveb

V oboru geometrická přesnost staveb se v první řadě zabýváme návrhem geometrické přesnosti. To znamená, že určíme tzv. technologické parametry výrobků, vytyčení a osazení konstrukce. Zároveň stanovíme, s jakou přesností bude konstrukce zhotovena. Určíme tedy mezní odchylky nebo tolerance. Návrhy přesnosti musí být zhotoveny tak, aby při přesnosti jednotlivých částí konstrukci mohlo být dosaženo zároveň požadované přesnosti kompletní konstrukce. Výsledná funkce a životnost konstrukce závisí právě na výsledné geometrické přesnosti měřené na kompletní dokončené konstrukci. Tyto souhrnné požadavky označujeme jako základní představa. Sladění požadavků a možností je obsahem metod optimalizačního procesu při navrhování, včetně výpočtu geometrické přesnosti. [14] Návrhy přesnosti je potřeba navrhnout tak, aby mohli být prokázány při kontrole měřením. Navržené geometrické parametry je potřeba při realizaci měřit, vyhodnotit a poté porovnat s návrhem. Takové geometrické parametry, které bychom nebyli schopni změřit, by nemělo cenu navrhovat.

Po návrhu geometrické přesnosti následuje samotný proces realizace, kde musíme dbát na dodržování předepsaných geometrických parametrů navržených při plánování. Výstavbu provádíme s požadovanou přesností. To znamená, že skutečné odchylky od plánovaného stavu nepřekračují předepsané mezní odchylky.

Po dokončení jednotlivých konstrukcí, popř. celé stavby se zjišťuje skutečný stav a porovnává se s navrženými hodnotami parametrů geometrické přesnosti. Skutečný stav se kontroluje pomocí měření s určenou přesností. Právě kontrole je věnována zvýšená pozornost, neboť se v současné době předpokládá, že optimalizační proces je zvládnán díky užívání automatizace výpočtů, aplikace interaktivního projektování a dalších metod. [14]

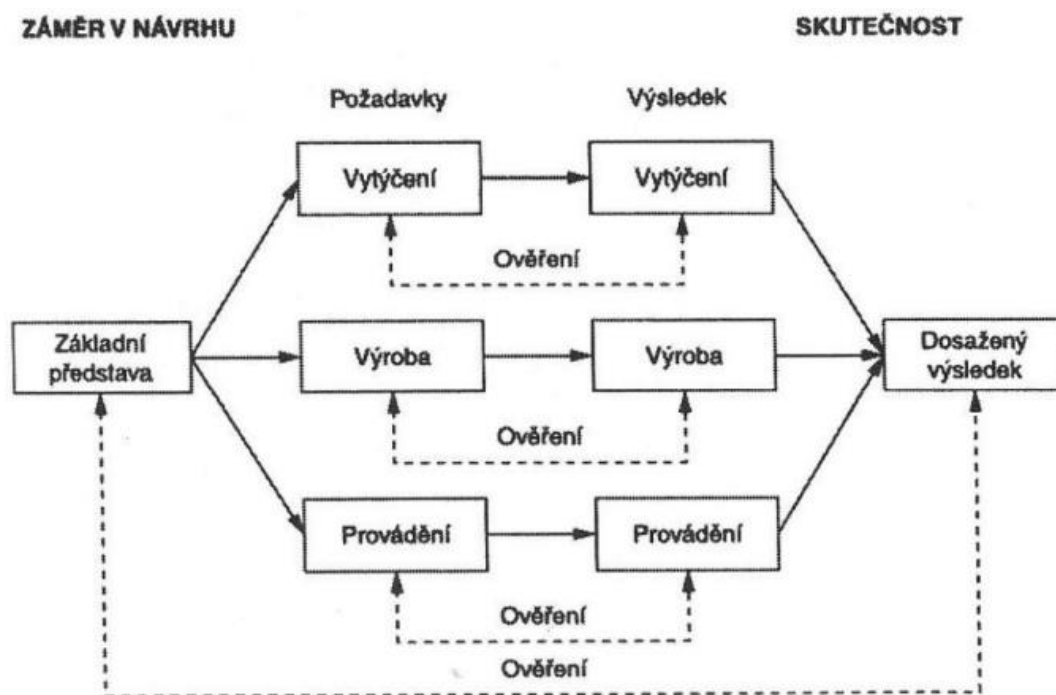
Na následujícím obr. 1 je zobrazeno schéma výchozího odhadu a podrobného návrhu geometrické přesnosti montované konstrukce. Tímto návrhem jsou stanoveny požadavky na přesnost kritických parametrů odvozených od funkčních požadavků, přesnost geometrických parametrů a tvarů výrobků, přesnost geometrických parametrů stavebních postupů a kontrolu přesnosti.



Obr. 1: Schéma systému zabezpečení geometrické přesnosti (Převzato z [ČSN 73 0205])

Nakonec dojde k porovnání záměru a skutečnosti. Hodnoty zjištěné pomocí měření se následně porovnávají s požadovanými hodnotami. Tyto hodnoty jsou uvedeny v návrhu geometrické přesnosti. Nakonec dojde k posouzení, zda je skutečnost ve shodě s požadavky. Pokud skutečnost odpovídá požadavkům, tzn. parametry geometrické přesnosti jsou v souladu s předepsanými mezními odchylkami a tolerancemi, konstrukce odpovídá požadavkům na přesnost daného geometrického parametru a je potvrzena shoda. Pokud skutečnost neodpovídá požadavkům, dochází k neshodě a je potřeba provést patřičné opatření. Konstrukci je v tomto případě nutno opravit do vyhovujícího stavu. Pokud to z nějakého důvodu není možné, je potřeba provést takové opatření, které zamezí problémům vzniklým nedodržením geometrické přesnosti. V krajním případě přistoupíme k odstranění nevyhovující konstrukce a zhotovení nové, která bude odpovídat požadavkům.

Posouzení shody návrhu a skutečnosti se neprovádí pouze na konci procesu, ale i v každé etapě procesu vytyčování, výroby a výstavby. Při kontrole pouze na konci procesu by mohlo být v některých případech už pozdě. Na obr. 2 je znázorněno schéma průběžného porovnávání záměru a skutečnosti.



Obr. 2: Porovnání záměru a skutečnosti (Převzato z [ČSN ISO 1803])

1.1 Základní pojmy

Abychom mohli lépe pochopit problematiku, je zapotřebí si nejprve vysvětlit některé pojmy, které používají technické normy. Tyto pojmy a jejich definice jsou uvedeny v normě ČSN ISO 1803 *Pozemní stavby. Tolerance. Vyjadřování přesnosti rozměru. Zásady a názvosloví*. V této normě se nachází i rejstřík termínů v angličtině, němčině a francouzštině.

Geometrický parametr je délková nebo úhlová veličina. Pro vyjádření tvaru dílců, konstrukcí, rovinných úhlů se používá termín „rozměr“ nebo „úhel“. Geometrický parametr vymezuje rozsah veličiny v daném směru, přímce nebo úhlu. [15]

Hodnota geometrického parametru je hodnota geometrického parametru vyjádřená v měrných jednotkách. [15]

Základní (nominální) hodnota geometrického parametru (x_{nom}) je hodnota geometrického parametru stanovená v projektu. [15]

Skutečná hodnota geometrického parametru (x) je hodnota geometrického parametru zjištěná měřením s určenou přesností. [15]

Skutečná odchylka geometrického parametru je rozdíl mezi skutečnou a základní hodnotou geometrického parametru ($x-x_{nom}$). Skutečná odchylka má obecně složku náhodnou a systematickou. [15]

Horní mezní odchylka je algebraický rozdíl mezi horním mezním rozměrem a základním rozměrem. O tuto hodnotu může být základní rozměr zvětšen. [15]

Dolní mezní odchylka je algebraický rozdíl mezi dolním mezním rozměrem a základním rozměrem. O tuto hodnotu může být základní rozdíl zmenšen. [15]

Tolerance je rozdíl mezi horním mezním rozměrem a dolním mezním rozměrem. Uvádí se v absolutní hodnotě bez znaménka. Je to tedy absolutní hodnota rozdílu mezních odchylek. [15]

Funkční geometrický parametr je důležitý geometrický parametr, rozhodující o funkční způsobilosti stavebního objektu (konstrukce); jeho skutečná hodnota musí odpovídat funkčním požadavkům s požadovanou pravděpodobností. [15]

Technologický geometrický parametr je geometrický parametr vytyčení, rozměření osazení a výroby (stavebního dílce), konstrukce. Některé geometrické parametry osazení mohou být současně technologické i funkční. [15]

Vztažná délka (plocha, rovina atd.) je předepsaná délka (plošný obsah a tvar plochy), na kterou se vztahuje hodnota odchylky tvaru skutečného profilu či plochy, k referenčnímu geometrickému útvaru. [15]

Vztažný geometrický prvek je jednoduchý vyznačený nebo skutečný geometrický prvek (konstrukce, dílce), k němuž se vztahuje poloha stavební konstrukce (dílce). [15]

Montážní značka je vyznačený nebo smluvený bod na dílci, konstrukci, montážní rovině nebo na pomocné konstrukci, který je výsledkem vytyčení nebo rozměření. [15]

Tvar stavebního dílce (konstrukce) je souhrn geometrických vztahů povrchových geometrických prvků stavebního dílce. [15]

Poloha stavebního dílce (konstrukce) jsou vzdálenosti geometrických prvků (bodů, hran, rovin) od vztažných geometrických prvků (od montážní značky, od stanovené roviny, hrany, bodů) ve vodorovné rovině a ve svislém směru. [15]

Orientace stavebního dílce (konstrukce) jsou vzájemné geometrické vztahy geometrických prvků dílce (konstrukce) k stanovenému směru nebo vzájemné geometrické vztahy geometrických prvků dvou či více dílců (konstrukcí). [15]

Podrobné vytyčení stavebního objektu je vytyčení rozměrů stavebního objektu ve směru vodorovném a svislém a vytyčení polohy jednotlivých svislých konstrukcí (stěn, sloupů) uvnitř stavebního objektu. [15]

Rozměření je souhrn měřičských úkonů pro osazení navazující na značky podrobného vytyčení (ČSN 73 0250). [15]

Osazení stavebního dílce je souhrn operací, jimiž je stavební dílec (dílec bednění) osazen do projektem stanovené polohy a předepsané orientace. [15]

1.2 Soustava norem geometrické přesnosti

Pro geometrickou přesnost používáme soubor platných technických norem. Soubor norem geometrické přesnosti byl u nás zpracován po roce 1980. Struktura a obsah tohoto souboru je od počátku v souladu s mezinárodními normami ISO. Soubor norem má v České republice na starost Technická normalizační komise 24-Geometrická přesnost staveb. Po roce 1990 se kromě aktualizace stávajících norem zavádějí další nové normy ISO. Přednost dáváme především normám, u nichž se předpokládá, že budou převzaty i jako normy evropské.

Soustava norem geometrické přesnosti zahrnuje normu terminologickou a normu základních ustanovení. Dále lze normy pro geometrickou přesnost rozdělit na normy pro navrhování, normy realizačních procesů a blok norem pro měření, kontrolu a hodnocení geometrických parametrů.

1.2.1 Základní normy souboru

Řadíme mezi ně terminologickou normu ČSN ISO 1803 *Pozemní stavby. Tolerance. Vyjadřování přesnosti rozměru – Zásady a názvosloví* (Building construction-Tolerances- Expression of dimensional accuracy- Principes and terminology) a normu ČSN 73 0202:1995 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Základní ustanovení*.

Norma ČSN ISO 1803 byla vydána v dubnu roku 1996. Norma obsahuje základní definice a termíny týkající se přesnosti rozměrů. Součástí této normy je i rejstřík termínů v angličtině, němčině, francouzštině a češtině.

Norma ČSN 73 0202:1995 uvádí základní charakteristiky přesnosti a základní požadavky pro navrhování, zjišťování, kontrolu a hodnocení přesnosti geometrických parametrů. Tato norma nám říká, že stanovení přesnosti ve všech třech fázích projektování je optimalizací technologických a ekonomických možností realizačních procesů tak, aby byly dodrženy funkční požadavky.

1.2.2 Normy pro navrhování

Mezi normy pro navrhování geometrické přesnosti řadíme normu ČSN 73 0205:1995 *Geometrická přesnost. Navrhování geometrické přesnosti*. Dále používáme normy ČSN 01 3405 *Výkresy ve stavebnictví* a ČSN 01 3419 *Výkresy ve stavebnictví. Vytyčovací výkresy staveb*.

Norma ČSN 73 0205:1995 obsahuje základní charakteristiky přesnosti, funkční požadavky, schéma návrhu, zásady pro navrhování, zásady výpočtu přesnosti a dokumentaci požadavků na geometrickou přesnost. Měla by být v praxi nejvíce využívána.

Pro označení charakteristik se při navrhování použije norma ČSN 01 3405 [15] a pro vytyčovací výkresy norma ČSN 01 3419.

1.2.3 Normy realizačních procesů

Do této skupiny patří normy ČSN 73 0210-1:1992 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Podmínky provádění – Část 1: přesnost osazení* a ČSN 0210-2:1993 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Podmínky provádění – Část 2: Přesnost monolitických betonových konstrukcí*.

Norma 73 0210-1:1992 stanovuje zásady přesnosti osazení stavebních dílců a dílců bednění. Obsahuje kromě obecných zásad pro předepisování geometrické přesnosti také orientační hodnoty mezních odchylek shody montážních značek při osazení. [15]

Norma 73 0210-2:1993 obsahuje zásady pro určování mezních odchylek a tolerancí pro hrubou stavbu, mezních odchylek a tolerancí bednění a stanovuje zásady kontroly přesnosti geometrických parametrů bednění a konstrukcí. V normě jsou

obsaženy také hodnoty mezních odchylek a tolerancí některých geometrických parametrů monolitických betonových konstrukcí.

Dále používáme skupinu norem definujících charakteristiky přesnosti a mezní odchylky geometrických parametrů podrobného vytyčení ČSN 73 0420-1 a ČSN 73 0420-2. V praxi používáme k tomuto účelu ještě často starší normy, jako ČSN 73 0420:1988, ČSN 73 0421 a ČSN 73 0422:1988.

1.2.4 Normy pro kontrolu a hodnocení

Kontrolou a hodnocením geometrické přesnosti se zabývá hned několik norem. První z nich je základní norma ČSN 73 0212-1:1996 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti – Část 1: Základní ustanovení*. Tato norma zahrnuje zásady a metody kontroly geometrické přesnosti stavebních dílců, konstrukcí, stavebních objektů a zásady kontroly vytyčovací prací. Obsahuje pravidla kontroly, upravuje záznam výsledků kontrol či vyloučení lokálních vad. [15]

Dále jsou používány normy:

ČSN 73 0212-3:1997 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti – Část 3: Pozemní stavební objekty*,

ČSN 73 0212-4:1994 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti – Část 4: Liniové stavební objekty*,

ČSN 730212-5:1994 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti – Část 5: Kontrola přesnosti stavebních dílců*.

Tyto normy se zabývají přesností kontroly geometrické přesnosti v daném oboru.

Norma ČSN 73 0212-6:1993 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti – Část 6: Statistická analýza a přejímka*. Stanovuje zásady pro stoprocentní i výběrovou kontrolu geometrické přesnosti stavebních objektů, konstrukcí a jejich částí.

Norma ČSN 73 0212-7:1994 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti – Část 7: Statistická regulace*. Stanovuje zásady pro statistickou regulaci geometrické přesnosti ve výstavbě, prováděnou v průběhu výrobního procesu.

Norma ČSN ISO 7737:1995 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Tolerance vy výstavbě. Záznam dat o přesnosti rozměrů*. Pojednává o získávání dat o přesnosti rozměrů ve stavební praxi a uvádí způsob, jakým se mají tato data uvádět. Je identická s normou ISO 7737.

Norma ČSN ISO 7077:1995 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Měřické metody ve výstavbě*. Předepisuje všeobecné zásady a postupy pro ověřování správnosti rozměrů. Popisuje zásady pro ověřovací měření rozměrů při výrobě a montáži stavebních dílců a na stavebním objektu jako celku.

Norma ČSN 7078:1996 *Pozemní stavby – Postupy měření a vytyčování – Slovník a vysvětlivky*. Uvádí termíny používané při vytyčování, měření a ostatních zeměměřičských činnostech ve výstavbě. Je identická s normou ISO 7078:1985. [15]

1.3 Navrhování geometrické přesnosti

Nezbytnou součástí každého návrhu stavby a s ní spojených všech staveništních procesů je návrh geometrické přesnosti. Návrh geometrické přesnosti slouží ke stanovení charakteristik přesnosti důležitých geometrických parametrů (rozměrů a úhlů), které přímo ovlivňují přesnost kritických geometrických parametrů. Přitom především dbáme na to, aby byly dodrženy funkční požadavky na konstrukce, jako je spolehlivost, bezpečnost, estetické požadavky a podobně. Při návrhu geometrické přesnosti je velmi důležité přihlížet k technologickým možnostem výroby, vytyčování a osazování s přihlédnutím na konkrétní podmínky stavby. Například při výrobě umožňuje technologie vyrobit prvek s omezenou přesností. Nemá tedy smysl navrhovat vyšší přesnost, než kterou jsme schopni dodržet. Absolutní přesnost v reálu prakticky neexistuje.

Z hlediska technologie rozlišujeme parametry:

- a) výchozí parametry (technologické)
- b) výsledné parametry [14]

Výchozí parametry sledujeme samostatně při výrobě a provádění. Nejsou závislé na jiných parametrech. Jsou to například rozměry dílců nebo vytyčené rozměry. Výsledné parametry jsou závislé na výchozích parametrech. Tuto skutečnost však můžeme zpravidla zanedbat a vyjádřit výsledné parametry samostatně. Kritické parametry mohou být výchozími i výsledné parametry. Je nutno především dodržet funkční požadavky závislé na druhu konkrétní stavby.

1.3.1 Funkční požadavky

Mezi funkční požadavky řadíme šest základních požadavků:

- 1) mechanická odolnost
- 2) požární bezpečnost

- 3) uživatelská bezpečnost
- 4) ochrana proti hluku
- 5) ochrana energie
- 6) hygiena [15]

Pro zajištění funkční způsobilosti stavby vyjádříme požadavky na geometrickou přesnost. Tu definujeme pomocí takzvaných funkčních charakteristik přesnosti. Geometrickou přesnost tedy vyjádříme pomocí funkční tolerance Δ_{xf} nebo mezní odchylky δ_{xf} . Doporučené hodnoty těchto charakteristik jsou uvedeny v příloze 1 k ČSN 73 0205. Důležitá je také pravděpodobnost dodržení těchto charakteristik. V normě se předpokládá, že budou funkční charakteristiky dodrženy s pravděpodobností 90%, k překročení dolní meze dojde s pravděpodobností 5% a k překročení horní meze dojde také s pravděpodobností 5%. U náročnějších staveb je potřeba požadavky zpřísnit. Dodržení funkčních charakteristik pak bude s pravděpodobností např. 99%, v některých případech dokonce 99,9%.

1.3.2 Zásady a postup navrhování

Základní zásady navrhování geometrické přesnosti staveb jsou hospodárnost, reálnost provedení a kontrolovatelnost. Při navrhování je potřeba najít optimální cenu, která se skládá z nákladů na zabezpečení geometrické přesnosti a nákladů za následky vzniklé případnými nepřesnostmi. Čím zvýšíme požadavky na geometrickou přesnost, tím se zvýší náklady na výrobu dílců, vytyčování a provádění. Najít optimální řešení může být velmi náročné. Tuto optimalizaci lze v některých případech nahradit porovnávací studií několika variant. Při navrhování je potřeba dbát na to, aby byl požadavek reálně splnitelný a abychom mohli navržené charakteristiky přesnosti reálně kontrolovat. Například nelze v návrhu předepsat mezní odchylku rovinnosti podlahy 0,1 mm. Tento požadavek bychom v reálu nebyli schopni splnit a nebylo by možné takovouto hodnotu zkontrolovat.

Při návrhu usilujeme o:

- a) minimální počet kritických parametrů
- b) co nejmenší počet nutných kontrol
- c) co nejširší intervaly funkčních tolerancí
- d) dostatečnou vůli prostoru pro technologická zařízení [15]

Rozlišujeme 3 možné postupy:

1) geometrickou přesnost nenavrhujeme

Použijeme, pokud se u konstrukcí nevyskytují žádné kritické geometrické parametry, nebo u konstrukcí, kde je přesnost prověřena na předchozích stavbách.

2) výchozí odhad přesnosti

Prověřují se zde technologické možnosti dosažení geometrické přesnosti některých kritických parametrů

3) podrobný návrh přesnosti

Přesnost ověřujeme u všech kritických parametrů a předepíše se způsob kontroly a metrologické zabezpečení provádění.

1.3.3 Kontrola přesnosti

V rámci podrobného návrhu geometrické přesnosti uvádíme také požadavky na kontrolu přesnosti. Předepisuje se zpravidla kontrola vytyčení, kontrola kritických parametrů a kontrola vybraných parametrů výroby s osazení, které mohou výrazně ovlivnit kritické parametry.

1.4 Kontrola geometrické přesnosti a záznamy měření

Měřením geometrické přesnosti, postupy kontroly a hodnocením jejích výsledků se zabývá několik technických norem. V soustavě norem jsou normy terminologické, normy charakterizující měřicí přístroje a normy měřicích postupů.

1.4.1 Kontrola geometrické přesnosti

V průběhu stavby probíhají kontrolní měření geometrické přesnosti. Tato měření provádí geodet stavby. V České republice musí tento pracovník podle zákona č. 200/94 Sb. mít oprávnění Úředně oprávněný zeměměřický inženýr. [15] Na stavbě se provádí tzv. ověřovací měření a kontrolní měření.

Ověřovací měření se provádí pro ověření správnosti geometrických parametrů dokončené etapy stavební činnosti, u kterých je předepsána mezní odchylka. Mezní odchylka se určuje např. pro stavební dílce, vytyčování nebo stavební práce. Ověřovací měření provádí a hradí dodavatel dané činnosti.

Kontrolní měření je nezávislé měření pro kontrolu správnosti a přesnosti předcházejících měření. Toto měření si objednává a hradí objednatel.

Kontrolu geometrické přesnosti rozdělujeme podle zařazení do výrobního procesu na kontrolu:

- a) vstupní
- b) výrobní
- c) přijímací [14]

Vstupní kontrolu provádí objednatel na dodaných výrobcích nebo konstrukcích. Výrobní kontrola se provádí zhotovitel během realizace stavby. Přijímací kontrola slouží k zhodnocení kvality z hlediska geometrické přesnosti dokončené stavby. Na základě přijímací kontroly se určí, zda je dodávka přijatelná.

Pro kontrolu geometrické přesnosti je důležité určit přesnost této kontroly. Přesnost kontroly vyjadřuje charakteristika přesnosti geometrického parametru, kterým je mezní odchylka kontroly δx_{met} . Tuto odchylku stanovujeme dvěma způsoby:

- a) je předepsána tolerance Δx kontrolovatelného parametru $\rightarrow \delta x_{met} = 0,2$
- b) není předepsána tolerance $\rightarrow \delta x_{met} \leq t \sigma_{xmet}$

kde:

σ_{xmet} ... směrodatná odchylka kontrolního měření

$t = 2$ (u jednoduchých a snadno kontrolovatelných geometrických parametrů, kde lze zanedbat systematické odchylky)

$t = 2,5$ (u obtížněji kontrolovatelných geometrických parametrů)

$t = 3$ (při měření za nepříznivých podmínek a při obtížném vyloučení systematických odchylek měření) [7]

1.4.2 Záznamy měření

Z každého měření geometrické přesnosti je potřeba provést záznam. V záznamu kontrolního měření se uvede:

- 1) kontrolovaný parametr
- 2) schéma měřené konstrukce s vyznačením míst měření
- 3) datum, čas a místo měření
- 4) jména pracovníků provádějících měření včetně zodpovědnosti za kontrolu
- 5) popis metody měření (použitá měřidla, pomůcky, postup měření, počet platných měření, omezující podmínky, ověření výsledků)
- 6) podmínky při měření (teplota, vlhkost prostředí) [7]

2 GEOMETRICKÁ PŘESNOST PRAVÝCH ÚHLŮ MÍSTNOSTÍ

2.1 Pravoúhlost svislých konstrukcí

Orientace svislých konstrukcí patří mezi důležité geometrické parametry stavby. Orientaci konstrukce specifikují požadavky na úhel mezi svislými rovinnými konstrukcemi ve vodorovném řezu a požadavky na svislost stěn a sloupů. Zaměříme se na úhel mezi svislými rovinnými konstrukcemi, konkrétně na pravý úhel. Zjednodušeně můžeme tuto problematiku označit jako pravoúhlost stěn.

U mnohých starších staveb můžeme pozorovat poměrně výrazné odchylky od pravoúhlosti. Odchylky stěn mívají často i několik centimetrů. To dokazuje, že se v historii na tento geometrický parametr příliš nedbalo. Nedodržování geometrické přesnosti bylo z části způsobeno omezenými možnostmi provádění stavby. Byly dostupné jen omezené technologie, které neumožňovali postavit stavbu s vyšší přesností. Dříve používané měřicí přístroje nedosahovali tak vysoké přesnosti, jaké dosahují v současnosti.

V současnosti, kdy geometrická přesnost představuje důležitou roli ve stavebnictví a věnuje se jí poměrně velká pozornost, jsou odchylky pravých úhlů podstatně menší. Současné technologie umožňují provádět stěny z hlediska orientace velmi přesně, a proto odchylky od pravých úhlů stěn dosahují běžně malých hodnot v řádu několika milimetrů. Ani dnes ale nejsme schopni postavit konstrukci s nulovými odchylkami. Absolutní geometrická přesnost ve stavebnictví prakticky neexistuje.

Nedodržení požadované přesnosti pravých úhlů místností může způsobit řadu problémů. Zejména se jedná o estetickou vadu. Tato vada zejména vynikne v případě rovnoběžného spárořezu dlažby na podlaze. Dalším problémem je nemožnost plnohodnotného využití prostoru místnosti v případě umístění pravoúhlého vybavení, a obtížná montáž nábytku či některých technologií.

2.2 Požadavky na geometrickou přesnost pravých úhlů

2.2.1 Požadavky na přesnost z hlediska navrhování

Požadavky na geometrickou přesnost pravých úhlů se charakterizují pomocí mezní odchylky orientace konstrukce. Mezní odchylka orientace udává přesnost orientace geometrických prvků konstrukcí ke vztažným geometrickým prvkům (osám, rovinám) nebo jiným geometrickým prvkům téže nebo jiné konstrukce. [1] Pro návrh geometrické přesnosti slouží česká technická norma *ČSN 73 0205 Geometrická přesnost ve výstavbě. Navrhování geometrické přesnosti*. Z této normy by měl vycházet projektant při navrhování.

V normě jsou uvedeny především obecné požadavky na navrhování geometrické přesnosti. Kromě obecných požadavků jsou v Příloze A uvedeny doporučené funkční charakteristiky přesnosti geometrických parametrů, které jsou odvozeny od funkčních požadavků na konstrukce. V této příloze najdeme tabulku s doporučenými mezními odchylkami orientace konstrukce.

Tab. 1: Mezní odchylky orientace konstrukcí

Druh orientace konstrukce	Mezní odchylky v mm pro rozsah délek konstrukce v m			
	do 4,0	více než 4,0 do 8,0	více než 8,0 do 16,0	více než 16,0
Úhel (vč. pravého) mezi svislými rovinnými konstrukcemi ve vodorovném řezu	±5 ¹⁾	±8 ¹⁾	±10 ¹⁾	±12 ¹⁾
Svislost stěn a sloupů v jednom podlaží	±10 ²⁾	±12 ²⁾	±15 ²⁾	⁵⁾
Sklon rovinných konstrukcí	±10 ³⁾	±12 ³⁾	±15 ³⁾	±20 ³⁾
Vodorovnost vodorovných rovinných konstrukcí	8 ⁴⁾	10 ⁴⁾	12 ⁴⁾	15 ⁴⁾
¹⁾ Platí pro kratší rameno sevřeného úhlu ve směru na ně kolmém. ²⁾ Platí pro celou výšku v rozmezí jednoho podlaží, ve směru vodorovném. ³⁾ Platí pro vztažnou délku v příslušném rozsahu délek, kolmo na nominální přímkou sklonu. ⁴⁾ Rozumí se absolutní hodnota rozdílů úrovní, ve svislém směru. ⁵⁾ Stanoví se podle funkčních požadavků.				

Převzato z normy ČSN 73 0205

Mezní odchylky pro geometrickou přesnost pravých úhlů stěn najdeme v prvním řádku tabulky. Hodnoty mezních odchylek platí pro kratší rameno sevřeného úhlu ve směru na ně kolmém. [1] Hodnoty uvedené v tabulce platí nejen pro odchylky od pravých úhlů, ale zároveň pro odchylky od jiných úhlů mezi konstrukcemi, pokud byl takový úhel navržen projektantem.

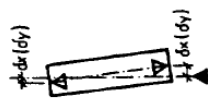

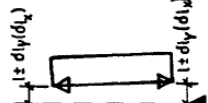

2.2.2 Požadavky na přesnost z hlediska provádění

Betonové konstrukce

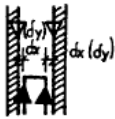

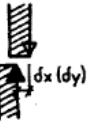
Pro provádění betonových konstrukcí slouží česká technická norma *ČSN EN 13 670*. Tato norma neobsahuje konkrétní požadavky na přesnost pravých úhlů konstrukcí. Pro získání orientačních hodnot mezních odchylek pravých úhlů můžeme použít normu *ČSN 73 0210-1 Geometrická přesnost ve výstavbě. Podmínky provádění*. Tato norma už není platná, ale je to jediná norma, podle které se můžeme v současnosti řídit.

Tab. 2 a 3 pochází právě z této normy. Tab. 2 popisuje přesnost orientace prefabrikovaných stěnových dílců a Tab. 3 určuje přesnost orientace dílců bednění při provádění monolitické stěny.

Tab. 2: Orientační hodnoty mezních odchylek shody montážních značek při osazení dílců svislých nosných konstrukcí

Stěnový dílec	Osa úložné plochy		±8
	Hrana úložné plochy		
	odsazená		±6
	Delší hrany úložné plochy		±5

Tab. 3: Orientační hodnoty mezních odchylek shody montážních značek při osazení dílců bednění

Desky svislého bednění	Vnitřní hrany opěrných prvků při použití distančních prvků 	+3 -0
	Vnitřní hrana opěrné plochy 	±8
	Stejnolehlé svislé hrany ve spáře 	5

Zděné konstrukce

Prováděním zděných konstrukcí se zabývá norma ČSN EN 1996-2 Eurokód 6: *Navrhování zděných konstrukcí - Část 2: Volba materiálů, konstruování a provádění zdiva*. Tato norma bohužel uvádí pouze povolené odchylky pro svislost, rovinnost a tloušťku konstrukce a nikoliv povolenou odchylku pro pravoúhlost.

Dřevěné konstrukce

Prováděním dřevěných konstrukcí se zabývá norma ČSN 73 2810. *Dřevěné stavební konstrukce. Provádění*. Tato norma bohužel neuvádí žádné povolené odchylky pro geometrickou přesnost.

Vnitřní omítky

Prováděním vnitřních omítek se zabývá norma ČSN EN 13914-2 *Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek - Část 2: Vnitřní omítky*. Tato norma neuvádí konkrétní hodnoty mezních odchylek pravoúhlosti omítnutých stěn. Vzhledem k tomu, že omítka má ve většině případech malou tloušťku, bude omítka zhruba kopírovat podklad. Dodržení pravoúhlosti omítnuté stěny bude tedy záviset na pravoúhlosti hrubé stěny. Tam, kde je požadována vysoká přesnost pro úhel mezi

přílehlými povrchy podkladu a omítkou v konečné úpravě se použije tabulka doporučených mezí pro úhly uvedená v normě.

Tab. 4: Doporučené meze pro úhly

Délka přilehlého povrchu λ m	Odchylka od pravého úhlu mm
$\lambda < 0,25$	3
$0,25 \leq \lambda < 0,5$	5
$0,5 \leq \lambda < 1$	6
$1 \leq \lambda \leq 3$	8
POZNÁMKA Národní přílohy mohou doporučit různé meze pro úhly.	

Převzato z normy ČSN EN 13914-2

2.2.3 Požadavky na geometrickou přesnost pravých úhlů – shrnutí

V soustavě norem geometrické přesnosti nalezneme pouze konkrétní požadavky pro navrhování geometrické přesnosti pravých úhlů místností. Tyto požadavky uvádí norma pro navrhování ČSN 73 0205. Norma uvádí doporučené hodnoty mezních odchylek pravých úhlů stěn. Projektant by se tedy měl řídit touto normou.

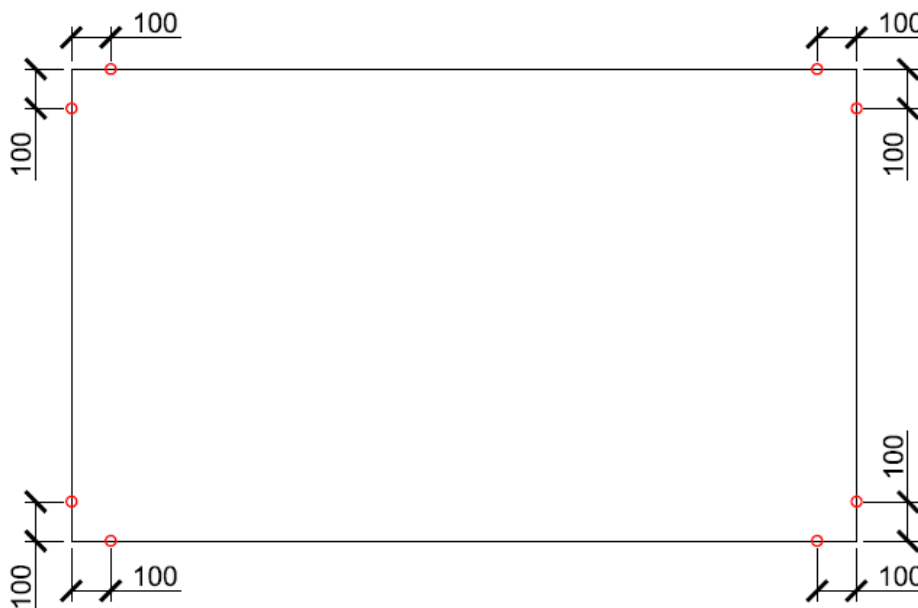
Kromě normy pro navrhování jsou také k dispozici normy pro provádění konstrukcí. Tyto normy ale bohužel neuvádí žádné hodnoty tolerance přesnosti pravých úhlů. Všechny tyto normy pouze doporučují, že se mají konstrukce provádět podle navržené geometrické přesnosti. To může v praxi představovat problém v případě, kdy není k dispozici přesný návrh geometrické přesnosti.

2.3 Postupy měření přesnosti pravých úhlů

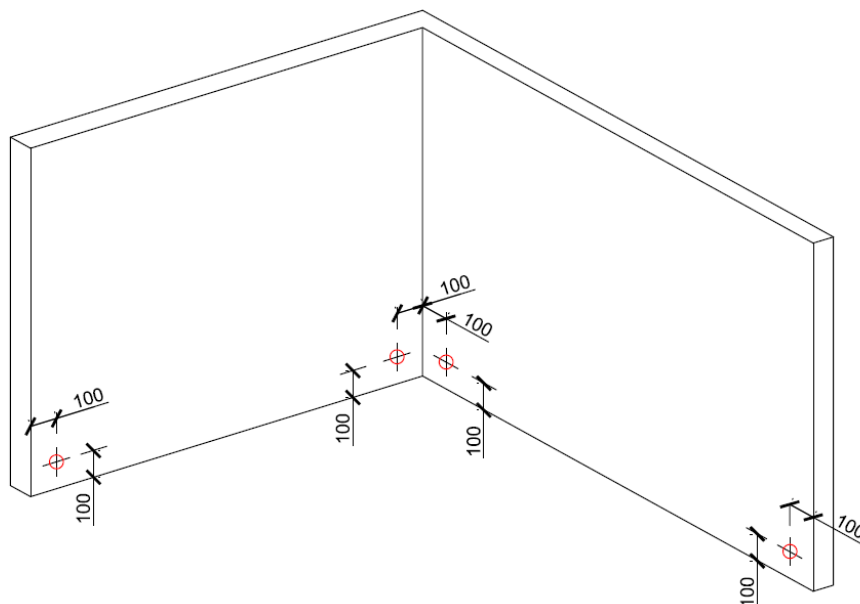
Cílem měření je zjistit hodnoty úhlových odchylek od předepsané orientace stěn v půdorysu. Pro kontrolu přesnosti pravých úhlů je potřeba správně stanovit postupy měření. Česká soustava norem ČSN pro geometrickou přesnost v současnosti bohužel neobsahuje žádné konkrétní postupy měření. Geometrickou přesností se zabývá také mezinárodní technická norma ISO 7976-1 Tolerances for building – Methods of measurement of building and building products. Ani v této normě však nenalezneme postupy měření přesnosti pravých úhlů místností. Pro určení postupů je potřeba se obrátit na soustavu německých technických norem DIN. Konkrétně norma DIN 18202 Toleranzen im Hochbau – Bauwerke se mimo jiné zabývá touto problematikou. Níže popsané postupy jsou v souladu právě s touto normou.

2.3.1 Měřicí body

Měření pravoúhlosti stěn se stejně jako v případě měření světých rozměrů místnosti zpravidla provádí v kontrolních měřicích bodech. Kontrolní body jsou odsazeny asi 100 mm od hran svislých konstrukcí v rozích místnosti a ve výšce 100 mm nad úrovní hrubé podlahy.



Obr. 3: Umístění měřicích bodů v půdorysu



Obr. 4: Umístění měřicích bodů na stěně

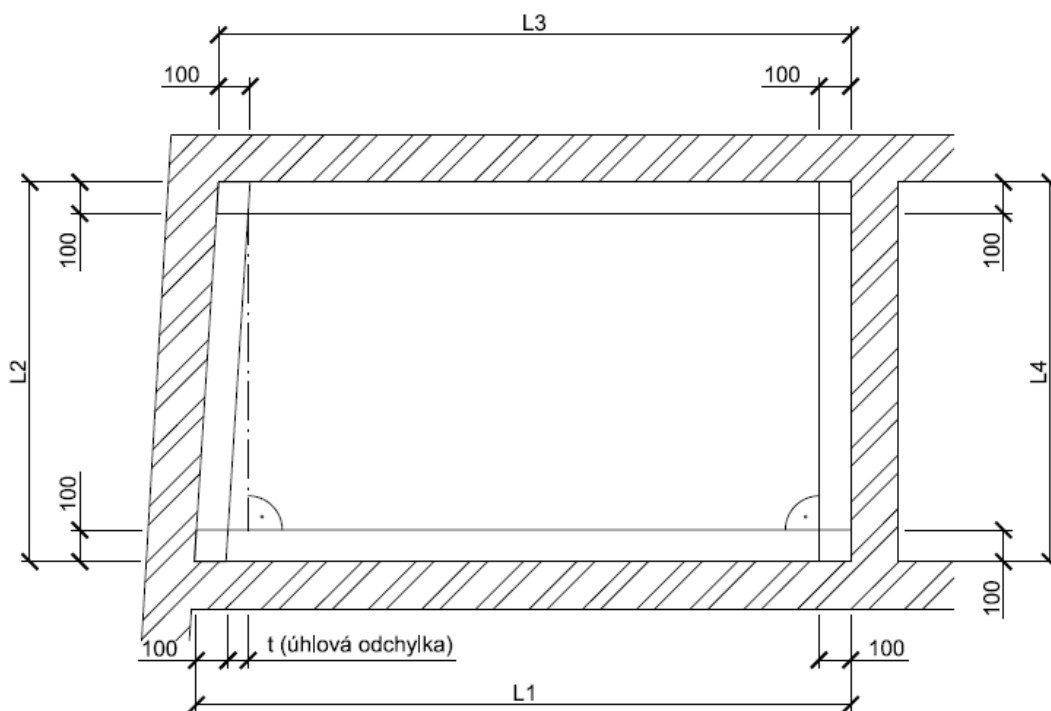
2.3.2 Měření pravoúhlosti stěn geodeticky

Měření pomocí totální stanice

Při měření pravých úhlů geodeticky v první řadě určíme kontrolní body podle výše uvedených požadavků. Propojením těchto bodů následně určíme referenční přímku, která reprezentuje směr posuzované konstrukce. Referenční přímka bude tedy odsazena o 10 cm od stěny. Tímto postupem omezíme účinek nerovností na ploše mezi rohovými body. Kontrolujeme pouze odchylku stěny v celé její délce. Úhlové odchylky v různých částech stěny, popř. středu stěny se nekontrolují. K měření používáme totální stanici.

Požadovaný úhel (v našem případě pravý úhel) se pak vynese od referenční přímky (resp. směru) delší stěny. Tím se vytvoří přímka kolmá na delší konstrukci, která udává požadovaný směr kratší stěny.

Nakonec porovnáme referenční přímku kratší stěny s požadovaným směrem této stěny. Vždy posuzujeme úhlovou odchylku vztahující se ke kratší stěně. Úhlovou odchylku určíme jako vzdálenost t mezi průsečíkem referenčních čar určujících směr stěn a kolmou přímkou, která určuje požadovaný směr – viz obr. 5.



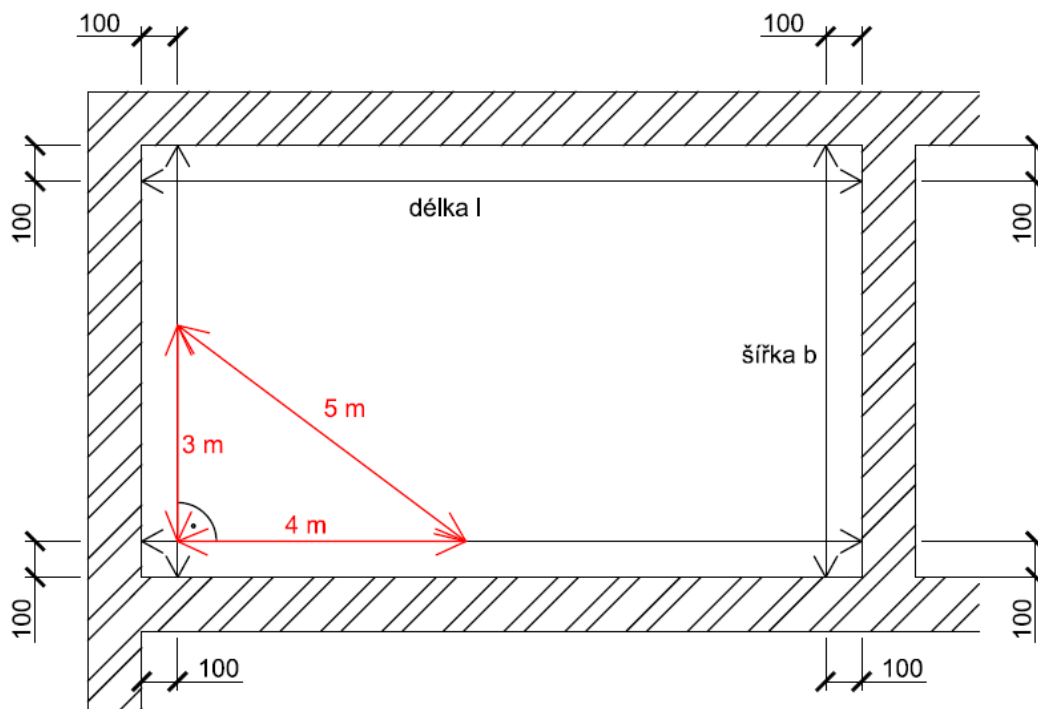
Obr. 5: Schéma měření pravoúhlosti stěn geodeticky

Měření pomocí 3D skeneru

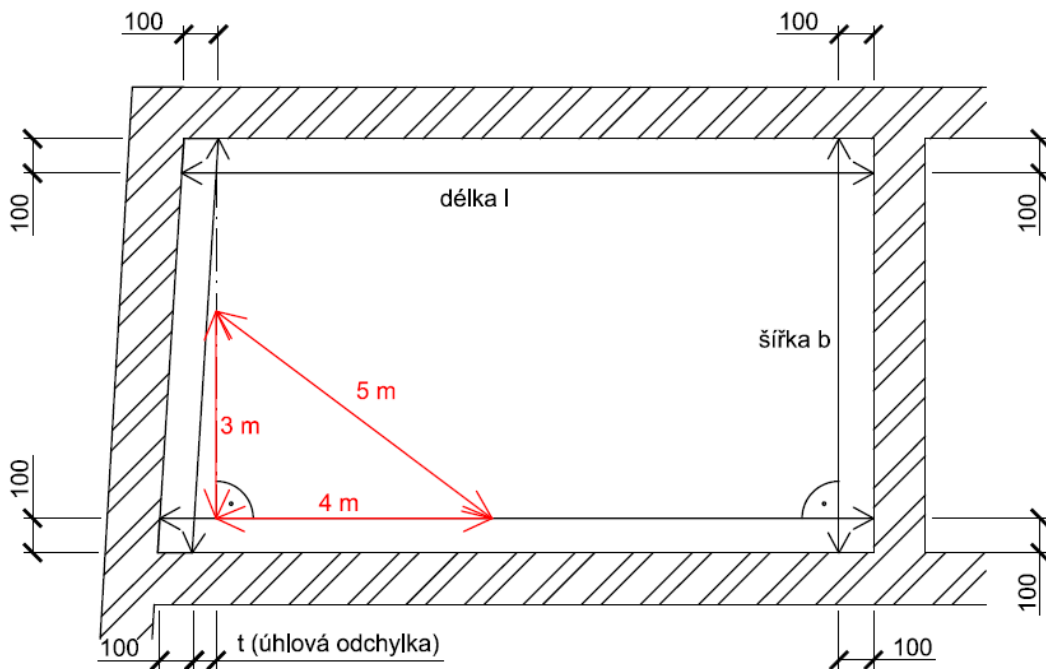
V každé měřené místnosti je pořízen pomocí skeneru jeden 3D sken. Laserová data jsou tak v lokálním systému skeneru. Laserová data jsou předpracována ve speciálním programu. Je provedena filtrace šumových a chybných bodů. Naměřená data jsou separována podle jednotlivých ploch. Každou stěnu tak tvoří jedno mračno bodů. Toto mračno je po obvodu zmenšeno o cca 0,1 m a zředěno do pravidelné čtvercové sítě po 0,5 m. Zmenšením mračna je zabráněno vlivu případných nerovností povrchu stěny v rozích místností. Laserovými body se proloží rovina reprezentující polohu a orientaci povrchu stěny. Mezi těmito rovinami porovnávaných stěn se provede analýza pravoúhlosti. Nominální hodnota úhlů mezi zřejmými pravoúhlými stěnami se nastaví na 90°. Tolerance odchylky měřené roviny od pravého úhlu je převzata z ČSN 73 0205.

2.3.3 Měření pravoúhlosti stěn pomocí pravoúhlého trojúhelníku

Při praktickém měření vyžaduje určení referenční přímky, vynesení požadovaného úhlu (kolmice) a naměření hodnot poměrně velké úsilí, zvláště když měříme úhlové odchylky více konstrukcí. Pro vynesení dvou referenčních přímek, které mají být na sebe kolmé je proto vhodné použít pravoúhlý trojúhelník s celočíselnými rozměry stran. Trojúhelník vyneseme pomocí napnutého délkového měřidla, či napnutého provázku nebo lanka s vyznačenou mírou (viz obr. 6). Následně změříme vzdálenost t mezi průsečíkem na sebe kolmých přímek a průsečíkem referenčních přímek určujících směr stávajících stěn (bod 10 cm vzdálený od posuzované stěny – viz obr. 7). Tato vzdálenost představuje úhlovou odchylku stěny.



Obr. 6: Schéma měření pravouhlosti stěn za pomoci pravouhlého trojúhelníku – případ s pravouhlými stěnami

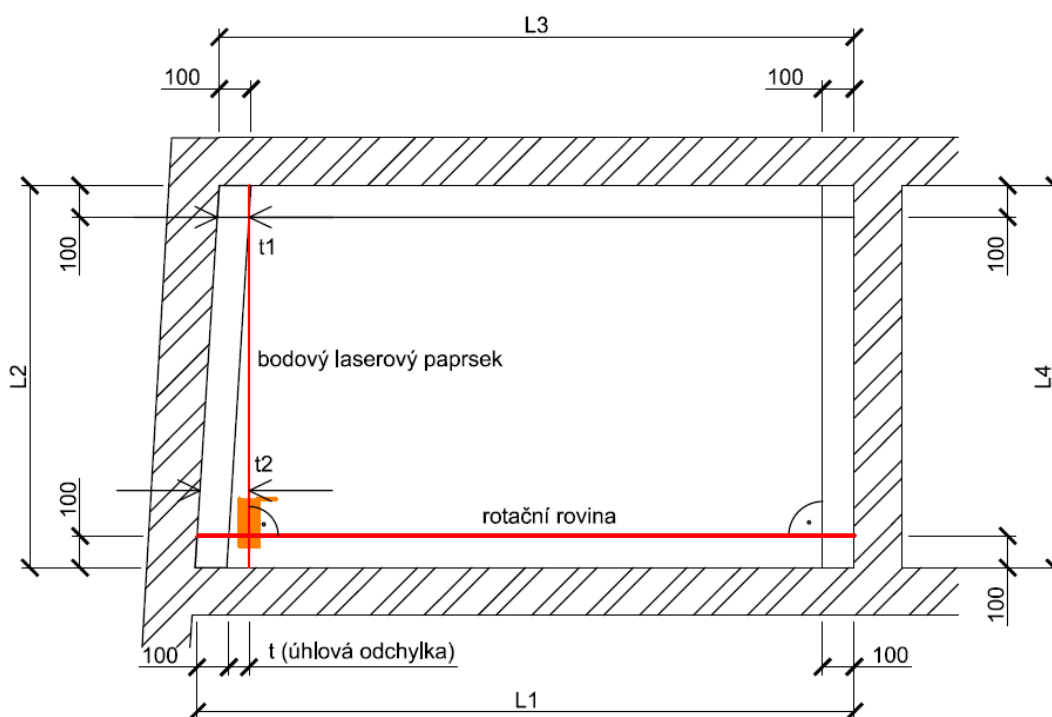


Obr. 7: Schéma měření pravouhlosti stěn za pomoci pravouhlého trojúhelníku – úhlová odchylka

2.3.4 Měření pravouhlosti stěn pomocí rotačního laseru

Měření pravých úhlů můžeme také provádět za použití rotačního laserového zařízení. Laser vytváří rovinu promítáním laserového paprsku a přímku kolmou na tuto rovinu. Kolmou přímkou vyváří bodovým laserovým paprskem. Rotační laser se umístí do rohu místnosti, kde by měly stěny svírat pravý úhel. Přístroj nastavíme tak, aby byla rotační rovina svislá a orientována tak, že je v obou rozích místnosti vzdálenost roviny od povrchu stěny stejná. Rovina by měla být odsazena od povrchu stěny o 100 mm. Následně se změří vzdálenost mezi kolmicí tvořenou bodovým paprskem a povrchem stěny. Vzdálenost změříme v obou rozích místnosti. Rozdíl naměřených hodnot představuje úhlovou odchylku stěny v půdorysu.

Orientace laserového přístroje vyžaduje buď držák zařízení se stavěcími šrouby pro jemné nastavení přístroje, nebo zařízení v přístroji, které pomocí servomotorů automaticky nastaví osu otáčení do požadované polohy.

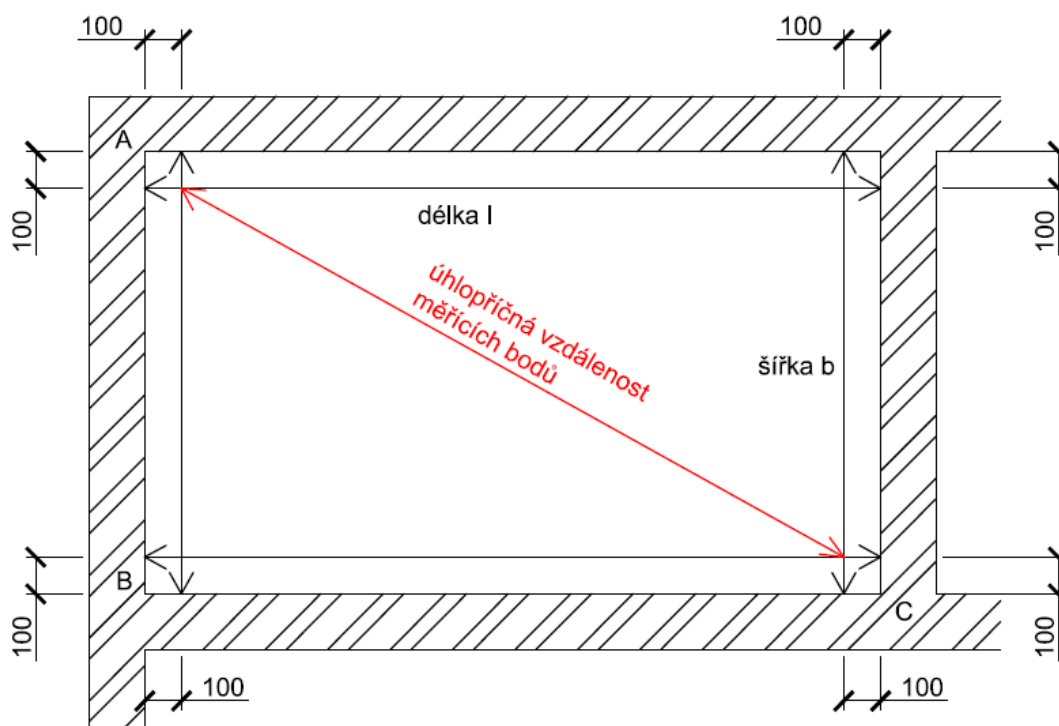


Obr. 8: Schéma měření pravouhlosti stěn pomocí rotačního laseru

2.3.5 Měření pravoúhlosti stěn pomocí měření úhlopříček

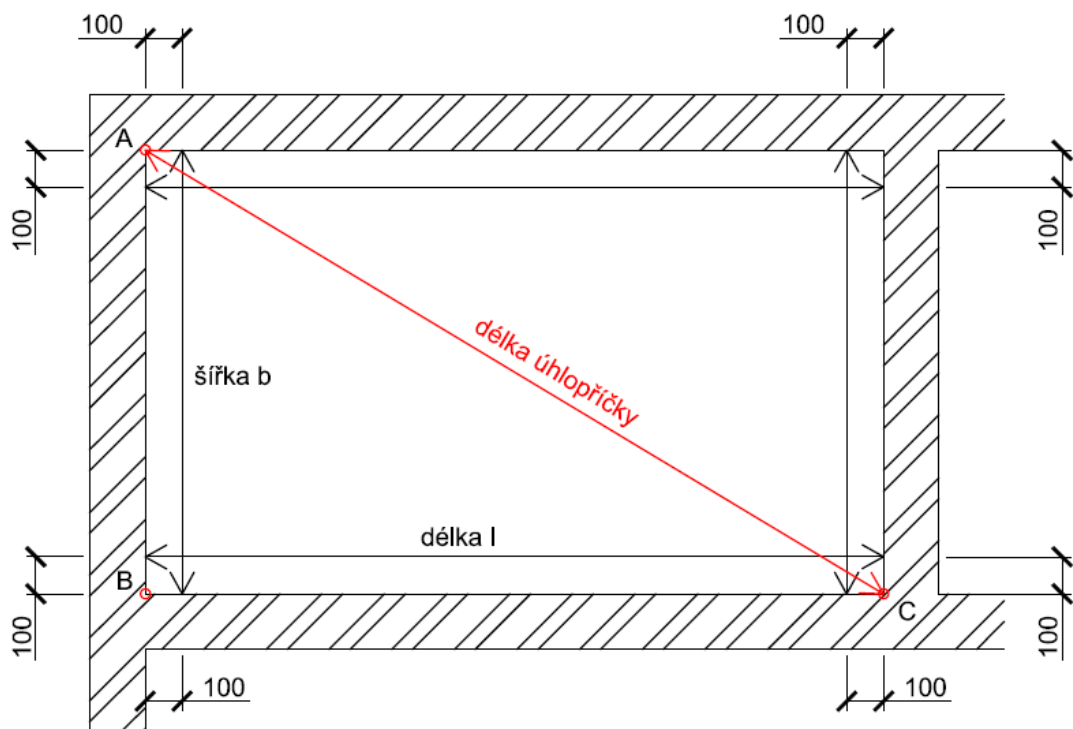
Alternativou k měření úhlových odchylek na místě je, že změříme skutečné rozměry konstrukce (4 strany místnosti) a následně použijeme metodu vyhodnocení zjištěných rozměrů s ohledem na úhlové odchylky.

Změříme světlou délku a šířku místnosti. Délku a šířku měříme s odstupem 10 cm od rohu stěn. Pro zjištění orientace stěn je potřeba změřit také délku úhlopříček místnosti. Délku úhlopříčky lze rovněž stanovit ve vzdálenosti 10 cm od konstrukce. To však vyžaduje vyznačení měřících bodů před stěnami (viz obr. 9). Tímto způsobem eliminujeme vliv nerovností v rozích. Zároveň nemůžeme při výpočtu použít přímo trojúhelník tvořený povrchy stěn a úhlopříčkou místnosti.



Obr. 9: Schéma měření pravoúhlosti stěn pomocí měření světлых rozměrů a úhlopříček místnosti – úhlopříčky mezi měřícími body

Délku úhlopříček místností můžeme měřit také přímo na povrchu stěn (viz obr. 10). To je pro vyhodnocení výhodnější, neboť to umožňuje použít referenční trojúhelník přímo mezi měřenými stěnami a úhlopříčkou (trojúhelník tvoří vrcholy A-B-C). Při zjišťování délky je však nutné zajistit, že měřící body v rozích konstrukcí jsou reprezentativní pro konstrukci. Měřící body nesmí vykazovat tvarové odchylky vyskytující se v rozích nebo okrajích konstrukcí. Měření provádíme ve výšce 10 cm nad podlahou.



Obr. 10: Schéma měření pravoúhlosti stěn pomocí měření světých rozměrů a úhlopříček místnosti – úhlopříčky rohovými body na povrchu konstrukce

Po změření rozměrů konstrukcí je potřeba provést vyhodnocení, kterým zjistíme, zda svírají stěny pravý úhel. K tomuto účelu využijeme pravoúhlý trojúhelník, resp. Pythagorovu větu.

Pokud platí, že

$$c^2 = a^2 + b^2 \rightarrow a^2 + b^2 - c^2 = 0$$

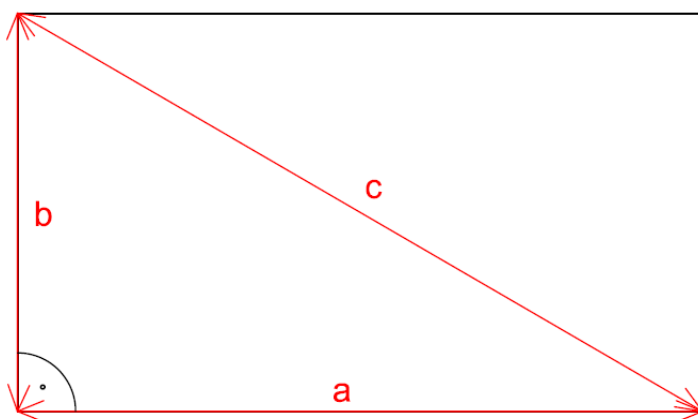
kde

c je délka úhlopříčky místnosti

a je délka delší stěny

b je délka kratší posuzované stěny

, pak je konstrukce pravoúhlá.



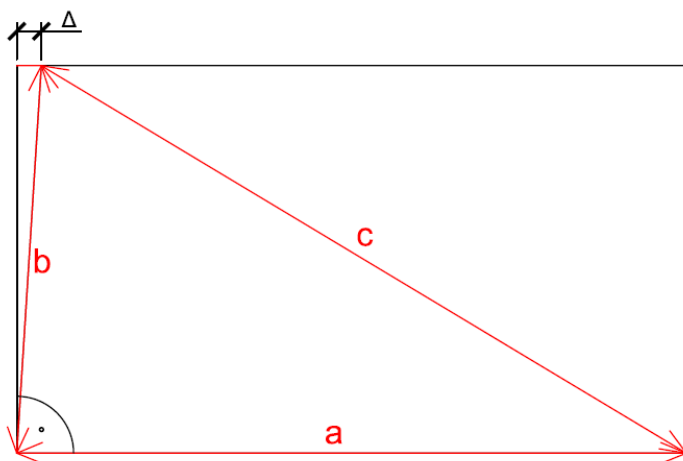
Obr. 11: Schéma měření pravouhlosti stěn pomocí měření světých rozměrů a úhlopříček místnosti – Pythagorova věta

Pokud však nevyjde, že $a^2 + b^2 - c^2 = 0$, pak pravý úhel nemá absolutní přesnost (v praxi nebude téměř nikdy dosažena absolutní přesnost) a vzniká úhlová odchylka Δ (viz obr.). Úhlovou odchylku Δ vypočteme z naměřených rozměrů následovně:

$$a^2 + b^2 - c^2 = 2\Delta a$$

↓

$$\Delta = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a}$$



Obr. 12: Schéma měření pravouhlosti stěn pomocí měření světých rozměrů a úhlopříček místnosti – určení odchylky Δ

2.3.6 Postupy měření pravouhlosti stěn - shrnutí

Měření pravouhlosti stěn můžeme provádět geodeticky, použitím pravouhlého trojúhelníku, pomocí rotačního laseru, či nepřímo přes vyhodnocení rozměrů místnosti. Geodetické měření vyžaduje práci geodeta a vytyčení měřících bodů. Přesto je to vzhledem ke své přesnosti a poměrně snadnému provedení měření nejvhodnější postup. V praxi lze také použít nepřímé měření pomocí vyhodnocení rozměrů místnosti. Tento postup je omezen skutečností, že lze použít pouze v místnosti se čtyřmi stranami a používá se především pro měření pravouhlosti stavebních otvorů. Pro rychlé, snadné a poměrně přesné měření je možno provést pomocí rotačního laseru. Výhodou je, že měření rotačním laserem nevyžaduje práci geodeta a měří přímo povrch stěny a není tedy potřeba vytyčení měřících bodů. Nejméně vhodným způsobem je měření pomocí pravouhlého trojúhelníku. Toto měření je poměrně náročné, neboť je potřeba vytyčení měřících bodů a může lehce dojít k chybě při vynášení trojúhelníku. Měření pomocí pravouhlého trojúhelníku proto není příliš používané.



Obr. 13: Faro Focus 3D (Převzato z [<http://www.merici-pristroje.cz/faro-focus3d-x130-laser-scanner/>])

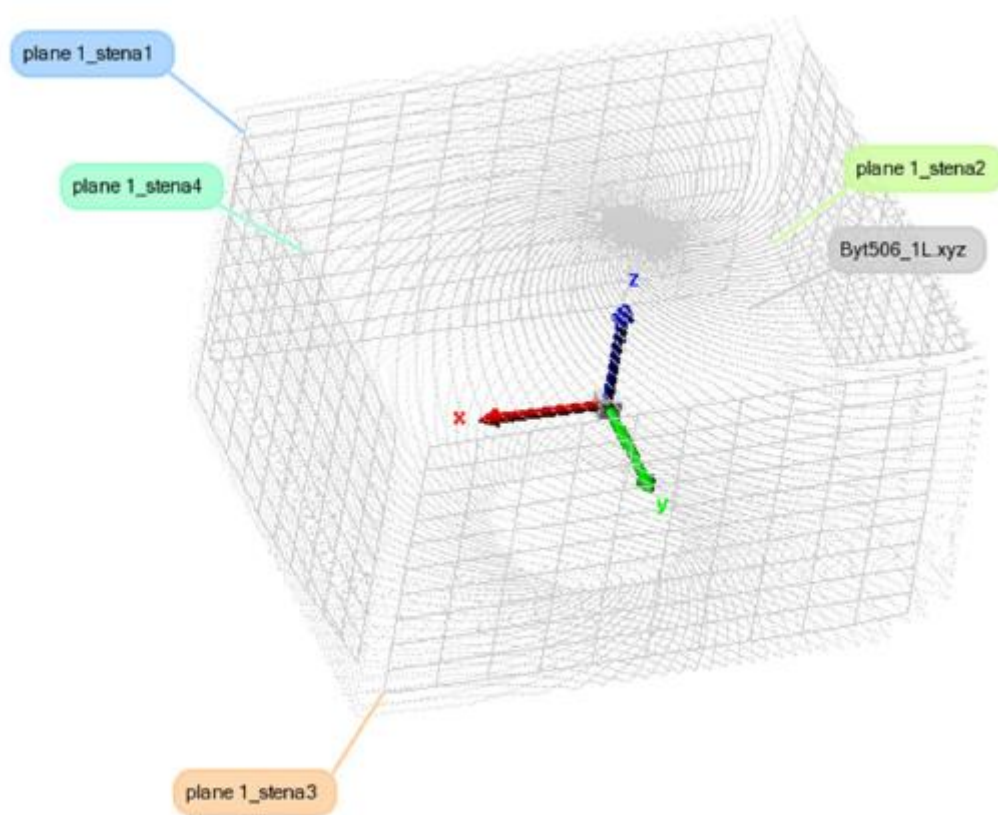
System pracuje na bázi vyzařování bodového laserového paprsku. Paprsek dopadá na otáčející se kosé zrcadlo, které jej láme pod úhlem 90° . Tímto je zajištěno skenování prostoru ve vertikálním směru. Aby bylo možno snímat prostor taktéž v horizontálním směru, otáčí se celý skener na podstavci kolem vlastní svislé osy. System komunikuje s počítačem přes síťové rozhraní Ethernet, a to drátově i bezdrátově, zároveň má vestavěný i vlastní dotykový displej pro snadné ovládání bez PC a paměťovou kartu pro archivaci dat. System má vestavěnu baterii a je schopný v základním provedení skenovat barevně. [12]

3.3 Výstupy analýzy pravouhlosti

Analýzou pravouhlosti sousedních stěn získáme dva výstupy. Jedním výstupem je grafické zobrazení půdorysu s popsány plochami a s hodnotami naměřených úhlů, zjištěných odchylek od nominální hodnoty (od pravého úhlu), tolerancí dle ČSN a porovnáním naměřené hodnoty úhlu s nominální hodnotou. Druhým výstupem analýzy je souhrnná tabulka analyzovaných úhlů s vyhodnocením, zda naměřené hodnoty spadají do požadované tolerance.

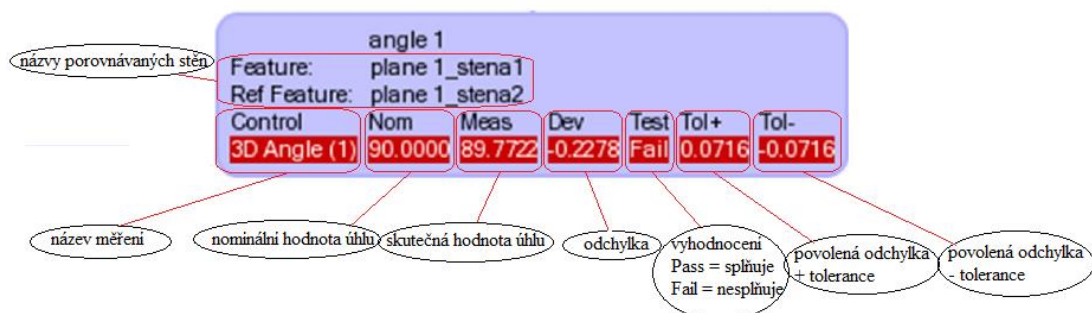
3.4 Výsledky měření

Místnost 1:

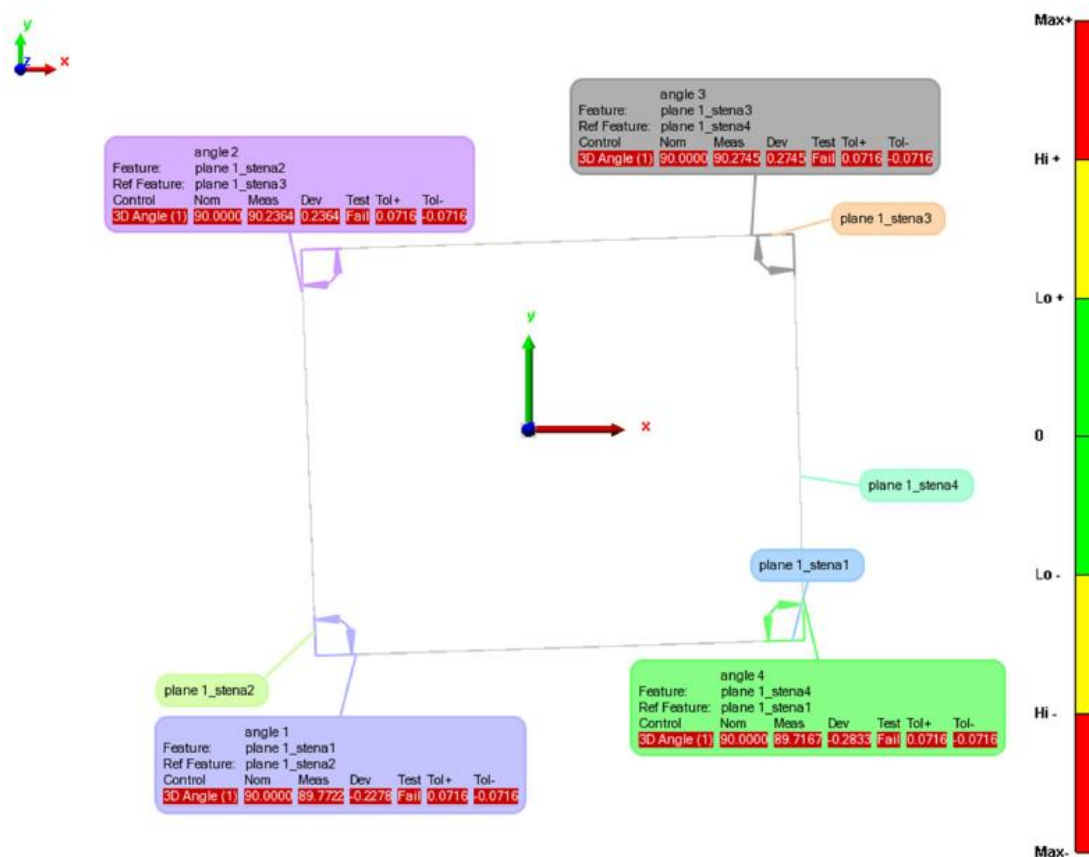


Obr. 14: Axonometrický pohled na laserové body a vytvořené plochy analyzovaných stěn v místnosti 1

Půdorysný pohled obsahuje popisek sledovaných úhlů s názvy porovnávaných stěn, nominální hodnotou úhlu, skutečnou hodnotou úhlu, odchylkou, povolenou hodnotou +/- tolerance a informaci, zda úhel splňuje danou toleranci.



Obr. 15: Komentář popisku sledovaného úhlu



Obr. 16: Půdorysný pohled místnosti 1 na stěny určené k porovnání pravoúhlosti

Druhým výstupem je přehledná tabulka sledovaných úhlů. Tabulka obsahuje identické údaje jako grafické znázornění na obrázku výše. Naměřený skutečný úhel mezi stěnami je porovnáván s požadovanými hodnotami tolerance dle ČSN 73 0205.

Tab. 5: Tabulka přípustných tolerancí pravouhlosti dle ČSN 73 0205

Konstrukce	Přípustné tolerance pravouhlosti stavebních konstrukcí	Zdroj
Otvory pro okna a vnější dveře ¹⁾	6mm do 1m	TNI 74 6077, čl.3.3.1.3
	8mm pro 1-3m	
	12mm pro 3-6m	
Konstrukce s dokončenými povrchy ²⁾	±5mm/do 4m	ČSN 73 0205, Tab.A.7
	±8mm/ 4-8m	
	±10mm/ 8-16m	
	±12mm/ nad 16m	
¹⁾ Lze také použít pro kontrolu rozměrů stavebních otvorů v prefabrikovaných, dřevěných konstrukcích apod. ²⁾ Lze také použít pro kontrolu vzdálenosti protilehlých kcí u SDK kcí, betonových prefabrikovaných kcí, dřevěných kcí, zděných omítnutých kcí apod.. Odchyłka se měří na kratším rameni sevřeného úhlu.		

V tabulce je uvedena mezní odchylka od pravého úhlu v mm na délku kratší stěny. Tato hodnota je přepočtena na úhlovou hodnotu ve stupních následovně:

$$\text{Tol+} = \arctg 5/4000 = 0,0716^\circ$$

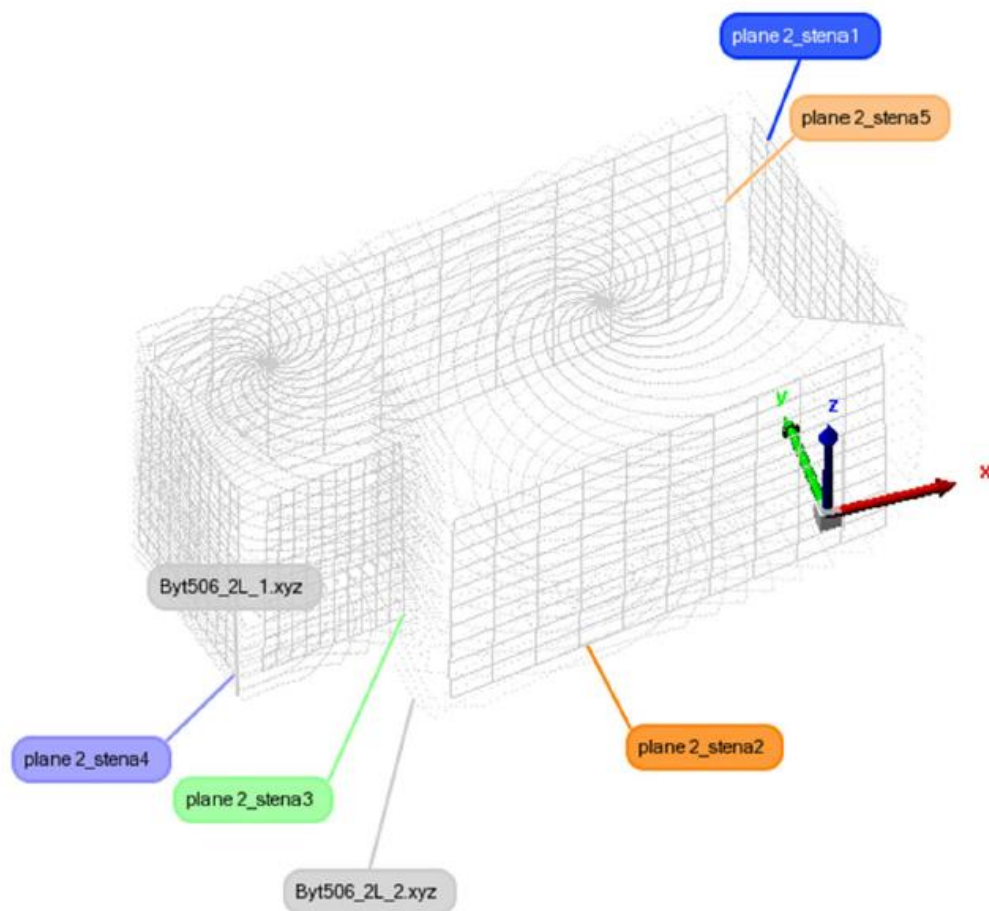
$$\text{Tol-} = \arctg (-5/4000) = -0,0716^\circ$$

Tab. 6: Tabulka sledovaných úhlů s identickými hodnotami jako v grafickém znázornění

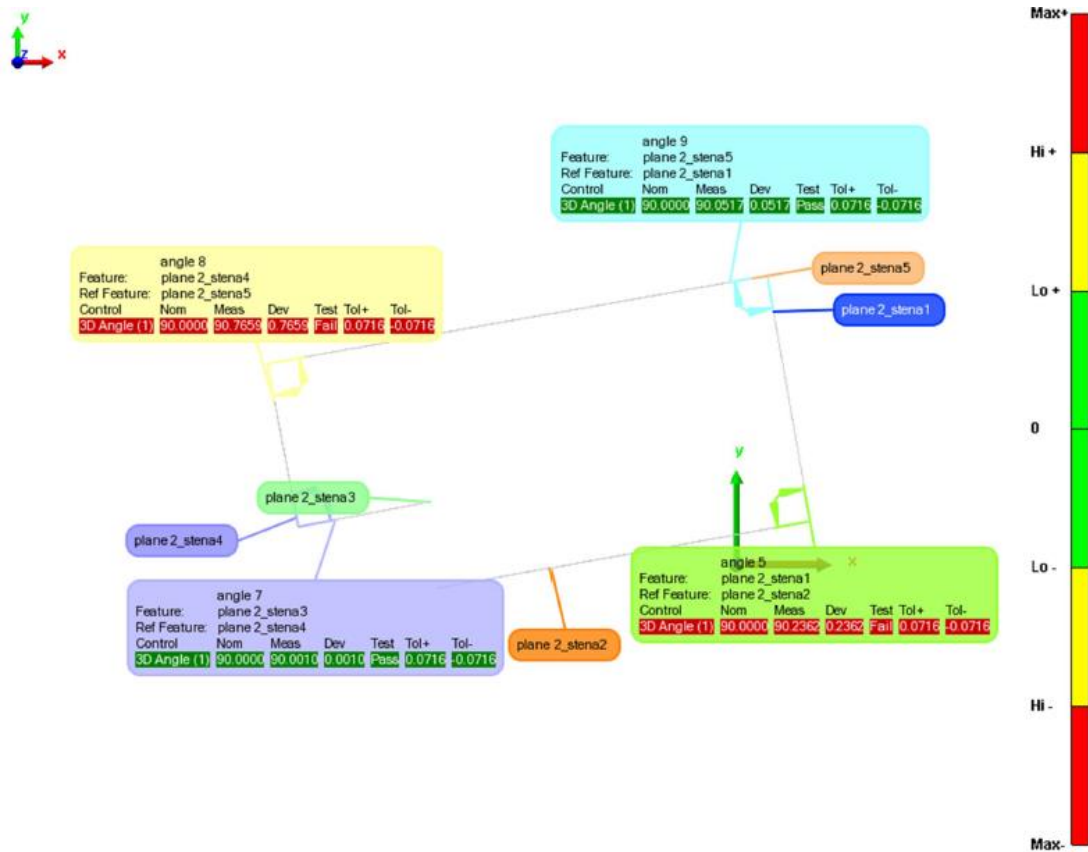
Name	Control	Nominal	Measured	Tol+	Tol-	TZ Size	Deviation	Test
angle 1	3D Angle (1)	90.0000	89.7722	0.0716	-0.0716		-0.2278	Fail
angle 2	3D Angle (1)	90.0000	90.2364	0.0716	-0.0716		0.2364	Fail
angle 3	3D Angle (1)	90.0000	90.2745	0.0716	-0.0716		0.2745	Fail
angle 4	3D Angle (1)	90.0000	89.7167	0.0716	-0.0716		-0.2833	Fail

Stejným způsobem proběhlo měření pravouhlosti v místnostech 2 a 3.

Místnost 2:



Obr. 17: Axonometrický pohled na laserové body a vytvořené plochy analyzovaných stěn v místnosti

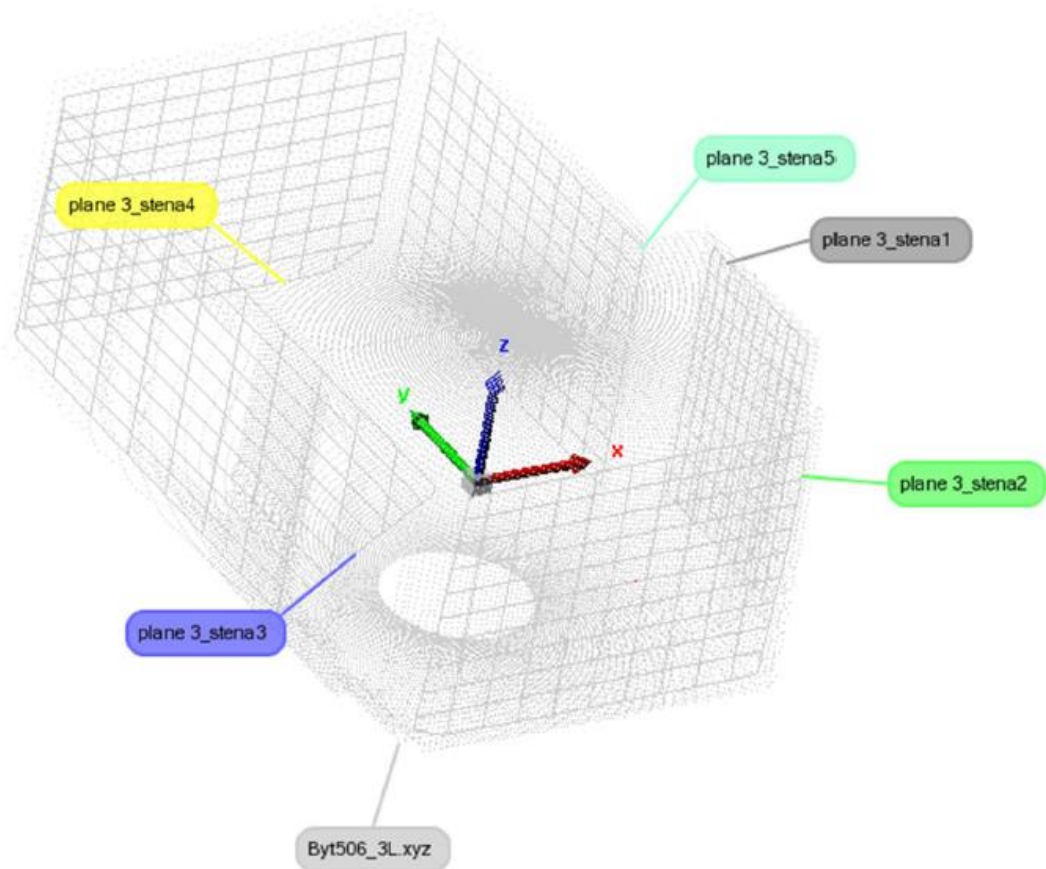


Obr. 18: Půdorysný pohled místnosti 2 na stěny určené k porovnání pravouhlosti

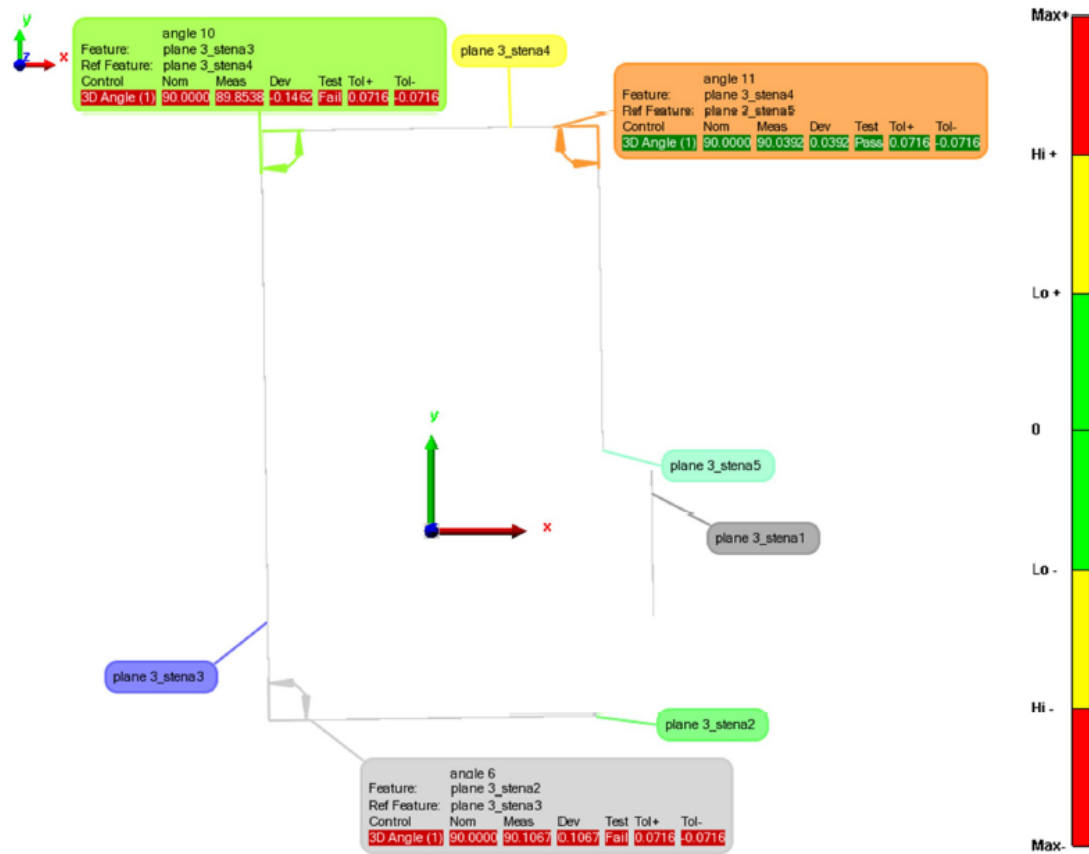
Tab. 7: Tabulka sledovaných úhlů s identickými hodnotami jako v grafickém zázornění

Name	Control	Nominal	Measured	Tol+	Tol-	TZ Size	Deviation	Test
angle 5	3D Angle (1)	90.0000	90.2362	0.0716	-0.0716		0.2362	Fail
angle 7	3D Angle (1)	90.0000	90.0010	0.0716	-0.0716		0.0010	Pass
angle 8	3D Angle (1)	90.0000	90.7659	0.0716	-0.0716		0.7659	Fail
angle 9	3D Angle (1)	90.0000	90.0517	0.0716	-0.0716		0.0517	Pass

Místnost 3:



Obr. 19: Axonometrický pohled na laserové body a vytvořené plochy analyzovaných stěn v místnosti 3



Obr. 20: Půdorysný pohled místnosti 3 na stěny určené k porovnání pravoúhlosti

Tab. 8: Tabulka sledovaných úhlů s identickými hodnotami jako v grafickém znázornění

Name	Control	Nominal	Measured	Tol+	Tol-	TZ Size	Deviation	Test
angle 6	3D Angle (1)	90.0000	90.1067	0.0716	-0.0716		0.1067	Fail
angle 10	3D Angle (1)	90.0000	89.8538	0.0716	-0.0716		-0.1462	Fail
angle 11	3D Angle (1)	90.0000	90.0392	0.0716	-0.0716		0.0392	Pass

3.5 Vyhodnocení výsledků

Pro lepší přehled uvádím souhrnnou tabulku všech naměřených úhlů v rámci našeho měření. Měřen byl jeden byt, ve kterém se hodnotilo celkem 11 pravých úhlů ve třech obytných místnostech. Z 11 úhlů vyhověly z hlediska geometrické přesnosti pouze 3 úhly. Vyhověly úhly 7, 9 a 11. Zbylých 8 úhlů nevyhovělo požadavkům na geometrickou přesnost. Ve čtyřech případech úhel mezi stěnami překročil horní mezní hodnotu a ve třech případech byl menší než dolní mezní hodnota.

Největší nepřesnost byla zjištěna v místnosti 2, u úhlu 8, svíraného stěnami 4 a 5. Odchylka od pravého úhlu v tomto případě dosahovala $0,7659^\circ$, což odpovídá odchylce 53 mm/4 m ($(\text{tg } 0,7659) \cdot 4000 = 53 \text{ mm}$). Nepřesnosti mohli být zapříčiněny nepřesným vytyčením stěn, nebo nedodržením požadované přesnosti při realizaci.

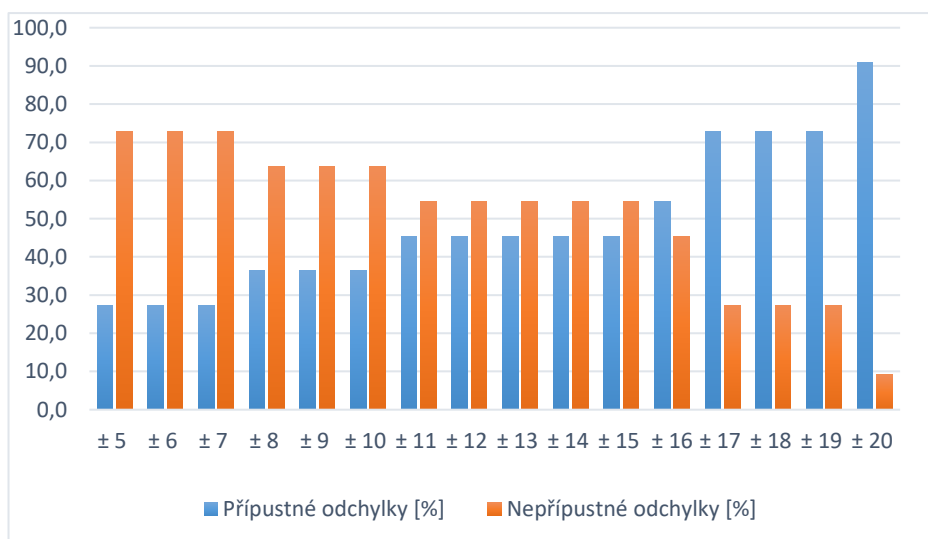
Tab. 9: Souhrnná tabulka všech měřených úhlů

Název	Nom. hodnota [°]	Skutečná hodnota [°]	Tol + [°]	Tol - [°]	Odchylka [°]	Vyhodnocení
úhel 1	90,0000	89,7722	0,0716	-0,0716	-0,2278	Nevyhovuje
úhel 2	90,0000	90,2364	0,0716	-0,0716	0,2364	Nevyhovuje
úhel 3	90,0000	90,2745	0,0716	-0,0716	0,2745	Nevyhovuje
úhel 4	90,0000	89,7167	0,0716	-0,0716	-0,2833	Nevyhovuje
úhel 5	90,0000	90,2362	0,0716	-0,0716	0,2362	Nevyhovuje
úhel 6	90,0000	90,1067	0,0716	-0,0716	0,1067	Nevyhovuje
úhel 7	90,0000	90,0010	0,0716	-0,0716	0,0010	Vyhovuje
úhel 8	90,0000	90,7659	0,0716	-0,0716	0,7659	Nevyhovuje
úhel 9	90,0000	90,0517	0,0716	-0,0716	0,0517	Vyhovuje
úhel 10	90,0000	89,8538	0,0716	-0,0716	-0,1462	Nevyhovuje
úhel 11	90,0000	90,0392	0,0716	-0,0716	0,0392	Vyhovuje

Při měření byla uvažována mezní úhlová odchylka $\pm 5 \text{ mm} / 4 \text{ m}$. Tento požadavek splnilo pouze 27,3% měřených úhlů. Dodržet tento požadavek představuje evidentně značný problém. Pro zvýšení pravděpodobnosti výskytu vyhovujících měření by bylo potřeba snížit nároky na přesnost pravých úhlů a zvýšit povolenou mezní úhlovou odchylku. V následující tabulce (Tab. 10) vidíme, kolik měření by vyhovělo při zvyšující se povolené toleranci.

Tab. 10: Zmírnění požadavků na geometrickou přesnost pravých úhlů

Přípustná odchylka [mm/4m]	Přípustná odchylka [°]	Vyhovuje (počet měření)	Nevyhovuje (počet měření)	Přípustné odchylky [%]	Nepřípustné odchylky [%]
± 5	0,0716	3	8	27,3	72,7
± 6	0,0859	3	8	27,3	72,7
± 7	0,1003	3	8	27,3	72,7
± 8	0,1146	4	7	36,4	63,6
± 9	0,1289	4	7	36,4	63,6
± 10	0,1432	4	7	36,4	63,6
± 11	0,1576	5	6	45,5	54,5
± 12	0,1719	5	6	45,5	54,5
± 13	0,1862	5	6	45,5	54,5
± 14	0,2005	5	6	45,5	54,5
± 15	0,2149	5	6	45,5	54,5
± 16	0,2292	6	5	54,5	45,5
± 17	0,2435	8	3	72,7	27,3
± 18	0,2578	8	3	72,7	27,3
± 19	0,2722	8	3	72,7	27,3
± 20	0,2865	10	1	90,9	9,1
± 54	0,7734	11	0	100,0	0,0



Obr. 21: Graf četnosti výskytu přípustných a nepřípustných odchylek při zvyšování tolerance

Z tabulky a grafu je patrné, že i přes poměrně výrazné zmírnění povolené tolerance se vyskytují naměřené úhly, které nevyhovují požadavkům. Pokud například navýšíme přípustnou odchylku na dvojnásobek, tedy 10mm / 4m, stále 63,6% měřených úhlů nevyhoví. Dokonce i při navýšení přípustné odchylky na 15mm / 4m nevyhoví 54,5% měřených úhlů. Pokud navýšíme přípustnou odchylku na 20 mm, nevyhoví pouze 1 měřený úhel, tedy 9,1 % měřených úhlů. Tento stav bychom mohli

považovat za uspokojivý. Nicméně častěji je požadováno, aby pravděpodobnost výskytu nevyhovující odchylky byla menší než 5%.

Ani zvýšení přípustné tolerance nevyloučí neshodu u úhlu 8. Při provádění je tedy potřeba věnovat vyšší pozornost dodržování geometrické přesnosti konstrukcí, v našem případě orientaci stěn. A to jak v případě provádění zdění stěn, tak i při omítání. Popřípadě je potřeba upravit pracovní postup tak, aby bylo možno dodržet požadavky.

ZÁVĚR

V práci jsem shrnul obecné zásady geometrické přesnosti vyplývající z českých technických norem ČSN. Byla použita především norma ČSN 73 0205 pro navrhování geometrické přesnosti. Další část byla věnována geometrické přesnosti pravých úhlů svislých konstrukcí. Určil jsem na základě ČSN 73 0205 požadavky na geometrickou přesnost pravých úhlů při navrhování stavebních konstrukcí. Dále jsem došel k závěru, že české normy postrádají požadavky na geometrickou přesnost pravých úhlů pro provádění jednotlivých konstrukcí. Tyto požadavky najdeme pouze pro provádění betonových konstrukcí, a to v již neplatné normě ČSN 73 0210-1. Dále jsem došel ke zjištění, že české technické normy neobsahují normové postupy měření geometrické přesnosti pravých úhlů. Postupy nenajdeme ani v žádné jiné odborné literatuře u nás. Obrátil jsem se tedy na zahraniční normy a na jejich základě stanovil a popsal několik možností postupů měření. Provedl jsem porovnání a zhodnocení postupů. Doporučuji zvolit měření geodetickým způsobem a to buď pomocí totální stanice, nebo pomocí 3D skeneru. Tato možnost je vzhledem k vysoké přesnosti a relativně jednoduchého provedení nejvhodnější, přesto že vyžaduje práci geodeta. Pro kontrolní měření bylo použito měření pomocí 3D skeneru. Z naměřených hodnot jsem zjistil, že se v měřeném bytě vyskytují poměrně velké úhlové odchylky ve většině měřených úhlů, které v některých případech výrazně překračují povolenou toleranci dle ČSN. Navrhuji opravu konstrukce do požadovaného stavu.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN 73 0205. *Geometrická přesnost ve výstavbě. Navrhování geometrické přesnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1995. Třídící znak 730205.
- [2] ČSN EN 13670. *Provádění betonových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak 732400
- [3] ČSN 73 0210-1. *Geometrická přesnost ve výstavbě. Podmínky provádění. Část 1: Přesnost osazení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992. Třídící znak 730210.
- [4] ČSN EN 1996-2. *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 2: Volba materiálů, konstruování a provádění zdiva*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. Třídící znak 731101.
- [5] ČSN 73 2810. *Dřevěné stavební konstrukce. Provádění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1993. Třídící znak 732810.
- [6] ČSN EN 13914-2. *Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek - Část 2: Vnitřní omítky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. Třídící znak 733710.
- [7] ČSN 73 0212-1. *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1996. Třídící znak 730212.
- [8] ČSN 73 0212-3. *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 3: Pozemní stavební objekty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1997. Třídící znak 730212.
- [9] ČSN 73 0212-5. *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 5: Kontrola přesnosti stavebních dílců*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994. Třídící znak 730212.
- [10] ISO 7976-1. *Tolerances for building - Methods of measurement of buildings and building products*. Switzerland: International Organization for Standardization, 1989

- [11] DIN 18202:2005-10. *Toleranzen im Hochbau – Bauwerke*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., 2005
- [12] ERTL, Ralf. *Toleranzen im Hochbau – Kommentar zur DIN 18202*. Köln: Rudolf Müller, 2013.
- [13] MAŠLÁR, Daniel a Linda VESELÁ. *Geometrická přesnost ve stavebnictví*. ATELIER DEK [online]. 2015 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/geometrick%C3%A1-p%C5%99esnost-ve-stavebnictv%C3%AD-653>
- [14] MATĚJKA, Zdeněk a Václav ŠANDA. *Přesnost geometrických parametrů ve výstavbě*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2006. ISBN 80-86769-61-5
- [15] MATĚJKA, Zdeněk a kolektiv. *Geometrická přesnost staveb (komentář k normám, praktické návody, vzory v příkladech)*. Ostrava: MONTANEX a.s., 1999. ISBN 80-7225-016-7
- [16] Přístroje pro měření a metrologii PRIMA. *FARO Focus3D-X130 Laser Scanner*. © 2014 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/faro-focus3d-x130-laser-scanner/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma systému zabezpečení geometrické přesnosti.....	11
Obr. 2: Porovnání záměru a skutečnosti	12
Obr. 3: Umístění měřících bodů v půdorysu.....	26
Obr. 4: Umístění měřících bodů na stěně.....	26
Obr. 5: Schéma měření pravoúhlosti stěn geodeticky.....	27
Obr. 6: Schéma měření pravoúhlosti stěn za pomoci pravoúhlého trojúhelníku – případ s pravoúhlými stěnami	29
Obr. 7: Schéma měření pravoúhlosti stěn za pomoci pravoúhlého trojúhelníku – úhlová odchylka	29
Obr. 8: Schéma měření pravoúhlosti stěn pomocí rotačního laseru.....	30
Obr. 9: Schéma měření pravoúhlosti stěn pomocí měření světých rozměrů a úhlopříček místnosti – úhlopříčky mezi měřícími body	31
Obr. 10: Schéma měření pravoúhlosti stěn pomocí měření světých rozměrů a úhlopříček místnosti – úhlopříčky rohovými body na povrchu konstrukce.....	32
Obr. 11: Schéma měření pravoúhlosti stěn pomocí měření světých rozměrů a úhlopříček místnosti – Pythagorova věta	33
Obr. 12: Schéma měření pravoúhlosti stěn pomocí měření světých rozměrů a úhlopříček místnosti – určení odchylky Δ	33
Obr. 13: Faro Focus 3D.....	36
Obr. 14: Axonometrický pohled na laserové body a vytvořené plochy analyzovaných stěn v místnosti 1.....	37
Obr. 15: Komentář popisku sledovaného úhlu.....	38
Obr. 16: Půdorysný pohled místnosti 1 na stěny určené k porovnání pravoúhlosti... 38	
Obr. 17: Axonometrický pohled na laserové body a vytvořené plochy analyzovaných stěn v místnosti.....	40
Obr. 18: Půdorysný pohled místnosti 2 na stěny určené k porovnání pravoúhlosti... 41	
Obr. 19: Axonometrický pohled na laserové body a vytvořené plochy analyzovaných stěn v místnosti 3.....	42
Obr. 20: Půdorysný pohled místnosti 3 na stěny určené k porovnání pravoúhlosti... 43	
Obr. 21: Graf četnosti výskytu přípustných a nepřípustných odchylek při zvyšování tolerance	45

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Mezní odchylky orientace konstrukcí.....	22
Tab. 2: Orientační hodnoty mezních odchylek shody montážních značek při osazení dílců svislých nosných konstrukcí	23
Tab. 3: Orientační hodnoty mezních odchylek shody montážních značek při osazení dílců bednění	24
Tab. 4: Doporučené meze pro úhly	25
Tab. 5: Tabulka přípustných tolerancí pravoúhlosti dle ČSN 73 0205.....	39
Tab. 6: Tabulka sledovaných úhlů s identickými hodnotami jako v grafickém znázornění	39
Tab. 7: Tabulka sledovaných úhlů s identickými hodnotami jako v grafickém znázornění	41
Tab. 8: Tabulka sledovaných úhlů s identickými hodnotami jako v grafickém znázornění	43
Tab. 9: Souhrnná tabulka všech měřených úhlů	44
Tab. 10: Zmírnění požadavků na geometrickou přesnost pravých úhlů	45