# VÝZKUMNÉ A INOVAČNÍ CENTRUM

## Research and innovation centre

esf evropský sociální fond v ČR

EVROPSKÁ UNIE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## OBSAH


**Poděkování** 2

**Ocenění - Stavba MS kraje 2013** 3

**Předmluva** 6

**1. Úvod** 8

**2. Návrh a realizace objektu** 10
2.1. Popis objektu 10
2.1.1. Urbanismus a architektonické řešeí 10
2.1.2. Dispoziční a konceptní řešeí 10
2.2. Konstrukční a materiálové řešení objektu 16
2.2.1. Základy 16
2.2.2. Horní stavba 16
2.2.3. Energetická koncepce a parametry objektu 20
2.2.4. Technické zařízení objektu 24
2.2.4.1. Vytápění 24
2.2.5. Elektroinstalace 34

**3. Sledované měření** 34
3.1 Popis měřících čidel 34
3.2. Měření geotechnických vlastností zeminy a mechanických vlastností základové desky 36
3.3. Měření teplot v zemině 38
3.4. Měření teplotně-vlhkostních vlastností stavebních konstrukcí 40
3.4.1 Obvodová stěna dřevostavby 42
3.4.2 Střešní konstrukce dřevostavby 46
3.5. Měření parametrů vnitřního rostředí 50

**4. Výsledky měření** 50
4.1. Věda a výzkum 50
4.1.1 Teoretický výzkum 50


## CONTENT


**Acknowledgements** 2

**Award - Stavba MS kraje 2013** 3

**Foreword** 7

**1. Introductory chapter** 9

**2. Design and realization of the building** 11
2.1. Description of the building 11
2.1.1. Urbanism and the architectonic solution 11
2.1.2. Disposition and conceptual solution 11
2.2. Construction and material solution for the building 17
2.2.1. Foundations 17
2.2.2. Top construction 17
2.2.3. Energy concept and parameters of the building 21
2.2.4. Technical equipment of the building 25
2.2.4.1. Heating 25
2.2.5. Electrical fittings 33

**3. Experimental measurements** 35
3.1 Description of measuring sensors 35
3.2. Measurements of geotechnical properties of the soil and the mechanical properties of the foundation slab 37
3.3. Temperature measurements in the soil 39
3.4. Measurements of temperature and moisture properties of the building structures 41
3.4.1 Peripheral wall of the timber building 43
3.4.2 Roof construction of the timber building 47
3.5 **Measurements of parameters of the internal environment parameters** 51

**4. Use of the building** 51
4.1 Science and research 51
4.1.1 Theoretical research 51

## Poděkování

Moravskoslezský dřevařský klastr, o.s. děkuje vedení společnosti RD Rýmařov, s.r.o. a vedení Fakulty stavební, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava za jejich nadstandardní přístup při realizaci projektu Výstavba výzkumného a inovačního centra.
Moravskoslezský dřevařský klastr, o.s. dále děkuje všem partnerům za jejich věcnou, finanční, materiálovou a technickou podporu při realizaci projektu.

## Acknowledgements

The Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster would like to thank the management of RD Rýmařov, s.r.o., the Managerial Board of the Faculty of Civil Engineering of the Technical University of Ostrava, VŠB-TUO for their extensive support during the project of the Construction of the Research and Innovation Centre.
The Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster also thanks all partners for their factual, financial, material and technical support during the execution of this project.

Zvláštní poděkování patří paní prof. Ing. Darje Kubečkové, Ph.D. a panu Ing. Jiřímu Pohloudkovi za jejich osobní podporu při přípravě a realizaci projektu, dále panu Ing. Petru Vaškovi a paní Ing. Ivetě Skotnicové, Ph.D. za přípravu podkladů pro projekt a vyhotovení žádosti o poskytnutí dotace, a panu Ing. Josefu Pavlíkovi za technické vedení projektu.

Tato publikace byla realizována za finančního přispění Evropské unie v rámci projektu CZ.1.07/2.4.00/17.0064 „Partnerství v oblasti stavebnictví a architektury “.

Special thanks go to Prof. Ing. Darja Kubečková, PhD. and Ing. Jiří Pohloudek for their personal support during the preparation and the realisation of the project, further, also to Ing. Petr Vašek and Ing. Iveta Skotnicová, PhD. for the preparation of the support materials for the project and preparation of the grant application and last, but not least, to Ing. Josef Pavlík for the technical guidance during the project work.

This publication was co-financed by the European Union under the project ‘Partnership within Civil Engineering and Architecture’, no. CZ.1.07/2.4.00/17.0064.



## Ocenění – Stavba MS kraje 2013 | Award – Stavba MS kraje 2013

MSDK
Moravskoslezský dřevařský klastr

MSDK
Moravskoslezský dřevařský klastr

## Předmluva

Dřevo je materiál, který je ve stavitelství a architektuře používán po staletí. Dřevostavby a konstrukce na bázi dřeva zaznamenaly za poslední staletí poměrně velký vývoj. Současné domy na bázi dřeva vykazují řadu vynikajících vlastností. Dnešní trend v navrhování dřevostaveb a jejich design je již zcela odlišný oproti minulým stoletím; návrh a design současných dřevěných domů je vysoce inovační, technologicky progresivní a bydlení lze charakterizovat jako ekologicky příznivé a komfortní.
Ne jinak je tomu u dřevěného rodinného domu, který byl realizován v letech 2012 až 2013 v areálu Fakulty stavební Vysoké školy báňské – Technické univerzitě Ostrava. Dům vznikl za podpory projektu Operačního programu Podnikání a inovace, program Školící střediska, název projektu: Vytvoření odborného školícího střediska Moravskoslezského dřevařského klastru ve spolupráci s Moravskoslezským dřevařským klastrem a RD Rýmařov a stal se stavbou, která naplnila cíl projektu, a tím bylo vybudování Výzkumného a inovačního centra zaměřeného na dřevostavby.
Dřevěný rodinný dům je doslova napěchován nejmodernějšími technologiemi, at již z oblasti tepelné techniky, energetiky, informačních technologií a jeho parametry splňují požadavky na konstrukce tohoto typů kladené, a to nejen z hlediska konstrukčního a technologického, ale zejména z hlediska tepelné techniky a energetiky. Dům si klade za cíl představit moderní dřevěné bydlení nejen odborníkům, ale i laické veřejnosti. V rodinném domě jsou každodenně monitorovány vybrané stavebně fyzikální a technické parametry a výsledky jsou průběžně sledovány a vyhodnocovány. Během následujících let tak bude možné sledovat chování dřevostavby v čase; dá se konstatovat, že z tohoto pohledu se jedná o unikát v České republice a výhledově i o získání unikátního přehledu ucelených souborů naměřených dat.

Chtěla bych touto cestou poděkovat panu Ing. Jiřímu Pohloudkovi, prezidentovi Moravskoslezkého dřevařského klastru, výkonnému manažerovi Ing. Janu Poledníkovi z MSDK, Ing. Josefu Pavlíkovi z RD Rýmařov, panu řediteli Ing. Petru Baborovi ze Siemensu a kolektivu pedagogů z Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava, kteří s elánem, v přátelském a kolektivním duchu toto inovační centrum budovali. Poděkování patří mému kolegovi Ing. Petru Vaškovi, který ve spolupráci s Moravskoslezským dřevařským klastrem zpracovával tento operační projekt Evropské unie.

Velké poděkování patří také panu rektorovi prof. Ing. Ivo Vondrákovi, CSc., který myšlenku vzniku Výzkumného a inovačního centra dřevostaveb v areálu Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava od samého začátku podporoval a pro výstavbu dřevěného rodinného domu uvolnil pozemek z majetku univerzity, formou symbolického pronájmu.

Věřím, že se Výzkumné a inovační centrum dřevostaveb bude dále úspěšně rozvíjet. Jestliže hovoříme o propojení vědy a výzkumu s praxí, pak toto Výzkumné a inovační centrum dřevostaveb je příkladem propojení univerzitního výzkumu a vzdělávání s klastrovými iniciativami.

prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
Prorektor pro rozvoj a investiční výstavbu

Na přelomu nového tisíciletí trpěl Moravskoslezský kraj jako nejprůmyslovější region ČR vleklými problémy způsobenými úzkou navázaností na těžký průmysl. Docházelo k útlumu těžební činnosti, poklesu průmyslové výroby v oblasti těžkého průmyslu a s tím souvisejícím nárůstem nezaměstnanosti. V tomto složitém období se ve slovníku mnohých z nás objevilo nové slovo – klastr. Klastr je obecně chápán jako skupina propojených společností, jejich dodavatelů, poskytovatelů služeb, dalších firem v příbuzných oborech, přidružených institucí a organizací, které působí ve stejném regionu. Tyto subjekty si mohou sice konkurovat, ale také navzájem spolupracují. Vazby mezi subjekty klastru mohou zároveň přispívat ke zlepšení jejich konkurenceschopnosti. Spolupráce firem v klastru zlepšuje jejich výsledky, umožňuje zvýšit počet inovací a export, přilákat atraktivní investice. Klastry často významným způsobem podporují výzkumnou základnu v daném regionu. Klastry tedy efektivně přispívají k ekonomickému růstu nejen firem, ale i celých regionů.



## Foreword

Wood is a material which has been used in civil engineering and architecture for centuries. Timber constructions and structures based on wood have undergone considerable development over the last centuries. Contemporary houses based on wood show a range of excellent properties. The current trend in planning of timber buildings and their design is entirely different from previous centuries; it is highly innovative, technologically progressive and living in this type of a building can be characterised as ecologically favourable and comfortable.

The above stated also applies to the timber house, which was built on the campus of the Faculty of Civil Engineering, Technical University of Ostrava, VŠB-TUO between 2012 and 2013. The house was built thanks to the support from the Operational Programme Enterprise and Innovation, Programme for Training Centres called Construction of a Specialist Training Centre for the Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster in co-operation with the Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster and RD Rýmařov. The aims of the project were fully accomplished and the Research and Innovation Centre for the Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster, focused at timber buildings, was created.

This timber house is literally packed with the most up-to-date technologies, from the areas of e.g. heating technologies, energetics, information technology, and its parameters comply with requirements on structures of this type, not only with respect to construction and technology but primarily with respect to thermal engineering and energetics. The house wishes to introduce modern timber housing not only to specialists but also to laymen. Every day selected physical construction and technical parameters are monitored in the house and the results are observed and evaluated continuously. Thanks to this, it will be possible to watch the behaviour of the timber structure during the time and with a prospect to achieve a unique overview of a comprehensive set of measured data. Regarding this fact, we can state that this is a unique project in the Czech Republic.

I would like to use this opportunity to thank Ing. Jiří Pohloudek, president of the Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster, the executive manager of MSWPC Ing. Jan Poledník, Ing. Josef Pavlík from RD Rýmařov, Ing Petr Babora from Siemens and the lecturers at the Faculty of Civil Engineering, Technical University of Ostrava – VŠB – TU Ostrava who built this innovation centre with so much energy and in friendly and cooperative spirit. Last but not least, I would like to thank my colleague Ing. Petr Vašek who worked in co-operation with the Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster on the EU operational programme.

My big thank you also goes to the chancellor of VŠB-TU, Prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc., who supported the idea to create the Research and Innovation Centre for the Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster, from the very beginning and who provided a plot belonging to the university, under the terms of a symbolic land lease, so that the timber house could be built there.

I believe that the research and innovation centre for timber houses will develop successfully. If we wish to speak about the connection between science, research and practice, then this Research and Innovation Centre for the Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster, is an example of connection between university research and education with cluster initiatives.

Prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
Vice-rector for Development and Investment

At the turn of the new millennium, the Moravian-Silesian Region, as the most industrial region of the Czech Republic, suffered from long-lasting problems caused by its strong reliance on heavy industry. Coal mining was stopped, industrial activity within the heavy industry was decreasing and unemployment was consequently increasing. A new word – cluster – appeared in the conversations of many in this difficult period. Clusters are generally seen as groups of intertwined

Právě inovace a zvýšení konkurenceschopnosti se jevila jako cesta ven z vleklé recese, která MS kraj postihla. Na základě studie MS kraje, byly vytipovány obory s perspektivou růstu, které by mohly regionu pomoci v jeho následném rozvoji. Model klastrové spolupráce byl vybrán jako nejvhodnější forma pro akceleraci inovací, výzkumu a vývoje a zvyšování konkurenceschopnosti firem.
Moravskoslezský dřevařský klastr, o.s. byl v roce 2005 druhým založeným klastrem v ČR. V roce 2010 měl klastr za sebou téměř 6 let existence. Organizace se zaměřovala zejména na podporu výzkumu, vývoje a inovací, podporu školství a spolupráce mezi školami a firemním sektorem a obecnou propagaci dřevozpracujícího a stavebního průmyslu s cílovým produktem dřevostavby. Právě touha po inovacích a zvýšení konkurenceschopnosti vedla zástupce klastru k myšlence vybudovat ve spolupráci s Vysokou školou báňskou - Technickou univerzitou Ostrava nové **Výzkumné a inovační centrum dřevařského klastru**.

Od prvotní myšlenky k realizaci uplynulo pouze několik měsíců. Generálním dodavatelem byla vybrána společnost RD Rýmařov, s.r.o., která svým vstřícným přístupem k inovacím byla bezesporu hlavním hnacím motorem celého projektu.

Projekt dřevařského klastru vyniká minimálně ve dvou dalších věcech:

1) Celá stavba byla realizována v areálu Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Fakulty stavební. Právě umístění objektu a jeho provázanost s vědeckou základnou položil základní kámen k další spolupráci na výzkumných, vývojových a inovačních úkolech klastru, jeho členů a technické univerzity.

2) Od vzniku výzkumného inovačního centra dřevařského klastru proběhlo nespočet exkurzí, v rámci kterých byl objekt dřevařského klastru prezentován studentům technických oborů s cílem ukázat aplikaci moderních technologií v praxi a podpořit možnou spolupráci mezi školami, jejich studenty a firemním sektorem. Právě projekty v oblasti vzdělávání studentů středních škol a vysokých škol a dále pak projekty, jejichž cílem je zajištění větší provázanosti škol s firemním sektorem prostřednictvím organizací stáží a praxí pro studenty středních škol, středních odborných škol, učilišť a vysokých škol řadíme mezi ty nejvýznamnější.

Ing. Jan Poledník
Výkonný manažer Moravskoslezského dřevařského klastru, o.s.

## 1. ÚVOD

Vznik výzkumného a inovačního centra dřevařského klastru byl iniciován členy Moravskoslezského dřevařského klastru, o.s. a zástupci Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Hlavním cílem projektu bylo vybudovat na půdě VŠB-TUO výzkumný objekt na bázi lehké prefabrikace dřeva za účelem jeho dlouhodobého zkoumání a monitorování. Projekt výstavby objektu byl následně rozšířen o systém inteligentního řízení budovy s možností jeho dalšího testování.

Budova výzkumného a inovačního centra má tři základní funkce:

- dlouhodobé zkoumání a monitorování objektu
- unikátní učební pomůcka postavená v měřítku 1:1 pro potřeby studentů a pedagogů střeních a vysokých škol
- školící středisko pro potřeby organizace školení odborné a laické veřejnosti v oblasti stavebních konstrukcí, izolačních materiálů.

Celkové náklady na výstavbu objektu a jeho vybavení činily 8.339.000,- Kč bez DPH. Z toho náklady na stavbu dosáhly 5,54 mil. Kč a náklady na vybavení včetně strojního vybavení a měřících přístrojů cca 2,8 mil Kč. Prostředky na výstavbu byly pokryty částečně z dotačního příspěvku ve výši 5 mil Kč z Operačního programu podnikání a inovace, program Školící střediska. Zbylá část do výše celkových nákladů byla pokryta z mimořádných příspěvků členů klastru.
Samotný objekt je situován na pozemku nacházejícím se v areálu Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Fakulty stavební.



companies, their suppliers, service providers and other subjects from neighbouring fields, adjacent institutions and organisations which cooperate within the same region. These subjects may act as competitors but they also cooperate. Connections between subjects within a cluster may help their competitiveness. Cooperation of companies inside a cluster improves their results. It enables to increase innovation and export and to attract investments. Clusters often considerably support research and development in the region. Therefore, clusters effectively contribute to economic growth of both the involved companies but also of whole regions.
It was innovation and the need to increase competitiveness which seemed to be the remedy for a lengthy recession that affected the Moravian-Silesian Region. Based on the study of the MS region, certain spheres with a potential to grow were identified as the most suitable fields which could help the region to develop. A model of cluster co-operation was selected as the most appropriate form to accelerate innovation, research and development and to increase the competitiveness of companies.
In 2005, the Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster became the second cluster to be established in the Czech Republic. In 2010 the cluster had existed for nearly 6 years. The organisation focused mainly on support for research, development and innovation, support for education and co-operation between schools, firms and the general promotion of wood-processing and civil engineering industries with the goal product – timber construction. The desire to innovate and to increase the competitiveness led the cluster representatives towards the idea to establish, in co-operation with VŠB-Technical University of Ostrava, a new **Research and Innovation Centre for the Wood-processing Cluster**.
Only a few months passed between the initial idea and its actual realisation. The company of RD Rýmařov, s.r.o. was selected as the general supplier. Its supportive attitude towards innovation was, without doubt, the main driving force of the whole project.

The project organised by the wood-processing cluster is exceptional at least in another two points:

1) The whole construction was realised on the campus of VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering. It is the location of the building and its tight connection with the base of scientific work that laid the foundation stone of further co-operation on research, development and innovation tasks of the cluster, its members and the Technical University.

2) Since the foundation of the research and innovation centre for the wood-processing cluster, many guided tours have taken place during which the building was introduced to students of technical disciplines with the aim to present how modern technology is applied in practice and to support a potential co-operation amongst schools, their students and firms. We consider projects in the area of secondary and university education to be the most important. Equally important are also projects which secure a better connection between schools and the private sector through the organisation of placements and internship experience for secondary school students, apprentice centres students and university students.

Ing. Jan Poledník
Executive Manager Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster

## 1. INTRODUCTION

The idea to establish a research and innovation centre for the Moravian-Silesian Wood-Processing Cluster was initiated by its members and representatives of the Technical University of Ostrava, VŠB-TUO. The aim of the project was to create a research centre, in the grounds of VŠB-TUO, based on light timber prefabrication, the purpose of which would be its long-term analysis and monitoring. The project for the construction of this building was subsequently extended by a system of intelligent control with the option to test the building even further.

The building of the research and innovation centre has three fundamental functions:

- long-term analysis and monitoring of the building,

V roce 2013 získal objekt Cenu odborné poroty za přínos a propojení s vědou a výzkumem v rámci soutěže Stavba Moravskoslezského kraje 2012.
Adresa objektu:

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební
Ludvíka Podéště 1875/17
708 00 Ostrava – Poruba
Česká republika

Termín realizace projektu: od 1.1.2011 do 31.12.2012

Bližší informace na **www.msdk.cz**

## 2. NÁVRH A REALIZACE OBJEKTU

### 2.1. POPIS OBJEKTU

#### 2.1.1. URBANISMUS A ARCHITEKTONICKÉ ŘEŠENÍ

Dvoupodlažní budova je situována v areálu Fakulty stavební VŠB TU-Ostrava, v části směřované na jih. Určený prostor je rovinatý a travnatý. Objekt výškově a tvarově nenarušuje okolní zástavbu a pultový tvar střechy s nízkým sklonem doplňuje zastřešení okolních domů. Orientací je dům směřován téměř ideálně pro potřeby solárních zisků. Vchod do objektu spolu se zádveřím, komunikačními a sociálními prostory je umístěn ze severní strany. Prostory učeben a haly směřují na jih. K tomuto účelu jsou přizpůsobeny i velikosti výplní otvorů. Fasádu tvoří kombinace nejčastěji používaných materiálů – kontaktní zateplovací systém s tenkovrstvou omítkou, provětrávaná fasáda s dřevěným obložením a provětrávaná fasáda s obkladovými fasádními deskami. Střešní krytinu tvoří plechová krytina s barevným povlakem.
Dům o rozměru 12,1x8,2m a sklonem střechy 15° stojí samostatně bez podsklepení s osazením horní stavby na plovoucí železobetonové (ŽB) desce. Horní stavba domu je řešena v technologii moderní dřevostavby, využívající maximální prefabrikace stavebních dílů. Stavební pozemek tím není dlouhodobě zatížen a rychle se dostává do původní kondice.

#### 2.1.2. DISPOZIČNÍ A KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ



- unique teaching aid built in the scale of 1:1 which will serve the needs of secondary and university students and their teachers,
- training centre where both specialist and laymen public could be educated in the field of building structures and insulation materials.

The total cost on the construction of the building and its equipment was CZK 8,339,000 without VAT. The costs of the construction reached CZK 5.54mil. and the expenditures on the equipment including machinery and measuring tools were approx. CZK 2.8mil. A subsidy from the Operational Programme Enterprise and Innovation, Programme for Training Centres of CZK 5mil. partly funded the construction. The remaining funding was covered from special contributions donated by members of the cluster.

The building itself is situated on a plot located on the grounds of the Faculty of Civil Engineering, Technical University of Ostrava, VŠB-TUO.

In 2013 the building was given the Specialist Committee Award for Contribution towards the Connection between Science and Research within the contest 'Stavba Moravskoslezského kraje 2012'.

The address:

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební
Ludvíka Podéště 1875/17
708 00 Ostrava – Poruba
Czech Republic

The project was carried out between 1.1.2011 and 31.12.2012

Detailed information can be found on: www.msdk.cz

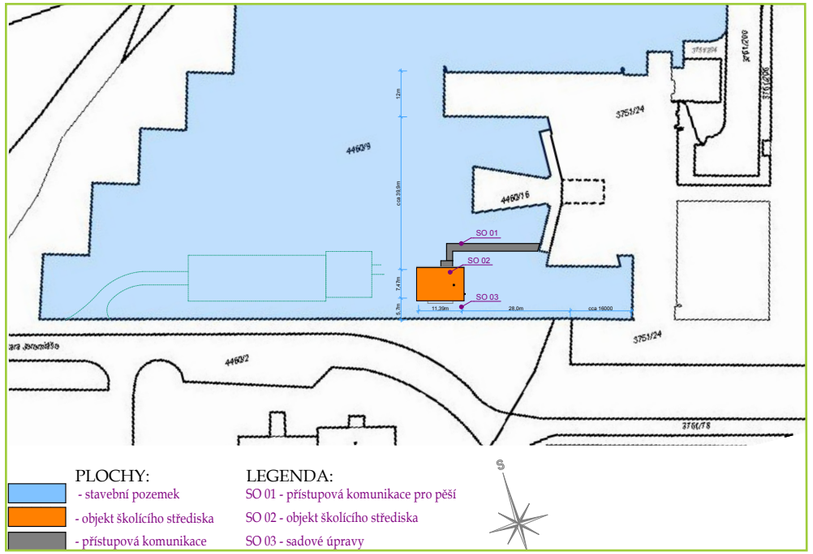
## 2. DESIGN AND REALIZATION OF THE BUILDING

### 2.1. DESCRIPTION OF THE BUILDING

#### 2.1.1. URBANISM AND THE ARCHITECTONIC SOLUTION

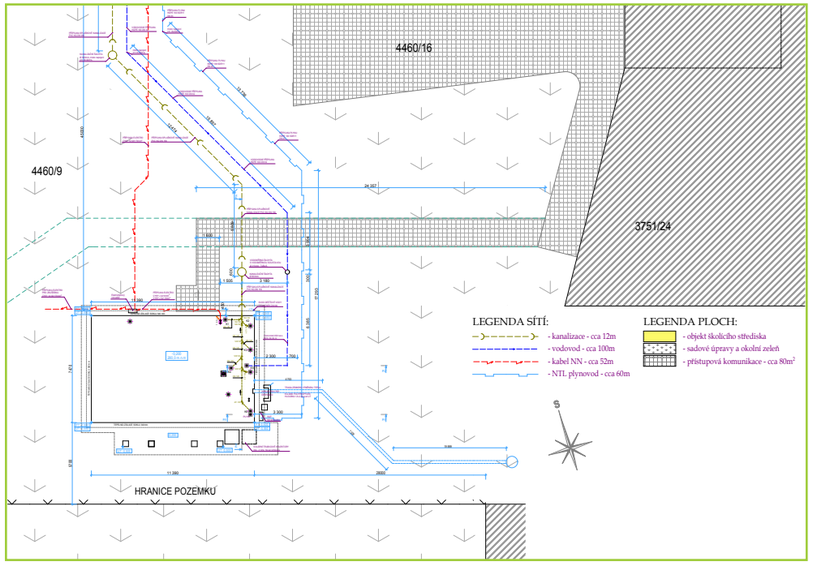
The two-storey building is situated on the campus of the Faculty of Civil Engineering VŠB – TU Ostrava, in the part facing the south. The designated area is flat and grassy. With respect to its height and its shape, the building does not disturb the surrounding development and the low-sloping shed roof complements the roofing of other houses in the area. The orientation of the house is almost ideal for solar gains. The entrance to the building together with the vestibule, communication premises and sanitary facilities are located in the north. The premises for classrooms and the hall face the south. Sizes of panes are adapted to this fact. The facade is combined from the most commonly used materials – a contact insulation system with a thin-layered plaster, a ventilated facade with wooden panelling and a ventilated facade with facade boards. The roofing consists of metal roofing with a coat of paint.
This detached 12.1x8.2m building with a roof sloping at 15° and without a basement is set on a floating reinforced concrete slab. A modern timber construction technology, using maximum prefabrication of construction parts, was applied on the top construction. This does not represent a long-term strain for the plot, which can quickly gain its original condition.

#### 2.1.2. DISPOSITION AND CONCEPTUAL SOLUTION



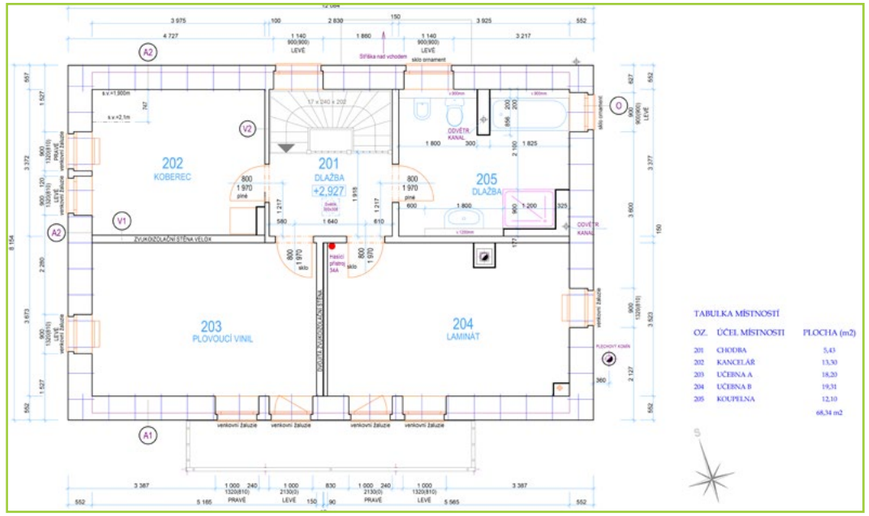

Výkres č. 1: Koordinační situace stavby

Drawing no. 1: Co-ordination situation of the building



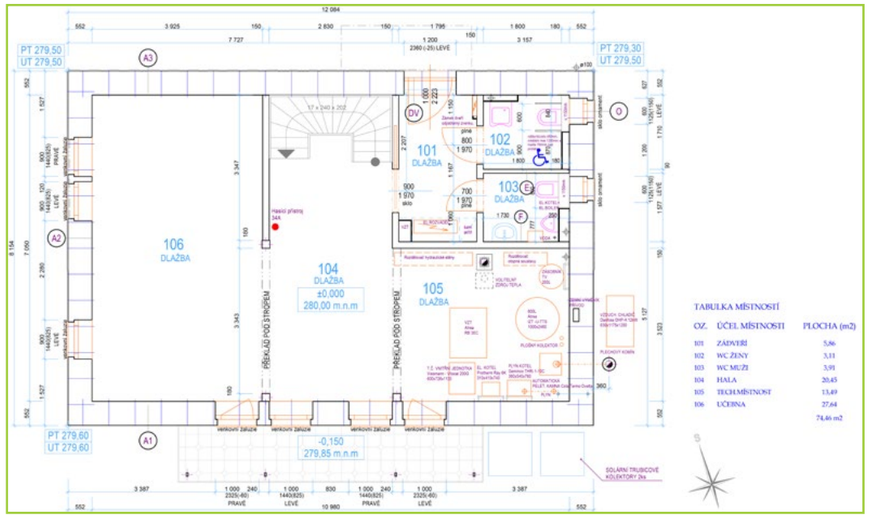

Výkres č. 2: Situace s přípojkami

Drawing no. 2: Situation with connections




Výkres č. 3: Půdorys 1.NP

Drawing no. 3: Ground plan of the ground floor




Výkres č. 4: Půdorys 2.NP

Drawing no. 4: Ground plan of the 1st floor

## G -STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

| | |
|---|---|
| PLECHOVÁ KRYTINA | |
| STŘEŠNÍ LATĚ 50/50 | 50 mm |
| KONTRALATĚ 60/60 | 60 mm |
| DIFUZNÍ FÓLIE | |
| NADKR. IZOLACE Steico Universal | 52 mm |
| NADKR. IZOLACE Steico Therm NOSNÍK 60/240 mm | 100 mm |
| TEPELNÁ IZOLACE Steico Flex | 240 mm |
| FERMACELL Vapor | 15 mm |
| LATĚ 120/60 | |
| TEPELNÁ IZOLACE Steico Flex | 120 mm |
| SÁDROKARTON GKF 1x | 15 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | 652 mm |

U= 0,10 Wm$^{-2}$K$^{-1}$

## O - OKNA

Profil rámu 92 mm

U= 0,71 Wm$^{-2}$K

## DV - VCHODOVÉ DVEŘE

Profil rámu 78 mm

U= 1,0 Wm$^{-2}$K

## A1 -OBVODOVÁ STĚNA

| | |
|---|---|
| FASÁDA Baumit open | ~7 mm |
| IZOLACE Steico Therm | 100 mm |
| FERMACELL | 15 mm |
| RÁM I NOSNÍK (300mm) | |
| TEPEL. IZOLACE Steico Flex | 300 mm |
| FERMACELL Vapor | 15 mm |
| TEPEL. IZOLACE Steico Flex | 60 mm |
| FERMACELL | 15 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | ~512 mm |

U= 0,10 Wm$^{-2}$K

## A2 -OBVODOVÁ STĚNA

| | |
|---|---|
| FASÁDA Dřevěná nebo Cetris | ~50 mm |
| IZOLACE Steico Special | 100 mm |
| FERMACELL | 15 mm |
| RÁM I NOSNÍK (300mm) | |
| TEPEL. IZOLACE Steico Flex | 300 mm |
| FERMACELL Vapor | 15 mm |
| TEPEL. IZOLACE Steico Flex | 60 mm |
| FERMACELL | 15 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | ~552 mm |

U= 0,10 Wm$^{-2}$K

## A3 -OBVODOVÁ STĚNA

| | |
|---|---|
| FASÁDA Baumit open | ~7 mm |
| IZOLACE Steico Therm a Protect | 80 a 60 mm |
| FERMACELL | 15 mm |
| RÁM I NOSNÍK (300mm) | |
| TEPEL. IZOLACE Steico Flex | 300 mm |
| FERMACELL Vapor | 15 mm |
| TEPEL. IZOLACE Steico Flex | 60 mm |
| FERMACELL | 15 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | ~552 mm |

U= 0,10 Wm$^{-2}$K

## C -STROP NAD PŘÍZEMÍM

| | |
|---|---|
| KONSTRUKCE PODLAHY | 120 mm |
| DTD | 22 mm |
| STROPNÍ NOSNÍK (240mm) | |
| VZDUCHOVÁ MEZERA | 120 mm |
| TEPEL. IZOLACE Orsil Uni | 120 mm |
| ROŠT Z LATÍ | 30 mm |
| SÁDROKARTON GKB 2x12,5 | 25 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | ~437 mm |

## B -PODLAHA PŘÍZEMÍ

| | |
|---|---|
| PODLAH. KRYTINA | ~5 mm |
| LITÝ POTĚR Z BETONU | 60 mm |
| POLYST. PODLAHOVÝ EPS 200S | 140 mm |
| FOLIE PE | |
| KONSTRUKCE ÚLOŽNÉ DESKY | 300 mm |
| TEPELNÁ IZOLACE | 200 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | ~700 mm |

U= 0,12 Wm$^{-2}$K

## D -ZAVĚŠENÝ PODHLED

| | |
|---|---|
| ROŠT Z CW-PROFILŮ | 60 mm |
| SÁDROKARTON GKF | 15 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | ~75 mm |

## E -VNITŘNÍ NOSNÁ STĚNA

| | |
|---|---|
| FERMACELL | 15 mm |
| RÁM (120mm) | |
| TEPEL. IZOLACE Orsil Uni | 120 mm |
| FERMACELL | 15 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | 150 mm |

## F -VNITŘNÍ NENOSNÁ PŘÍČKA

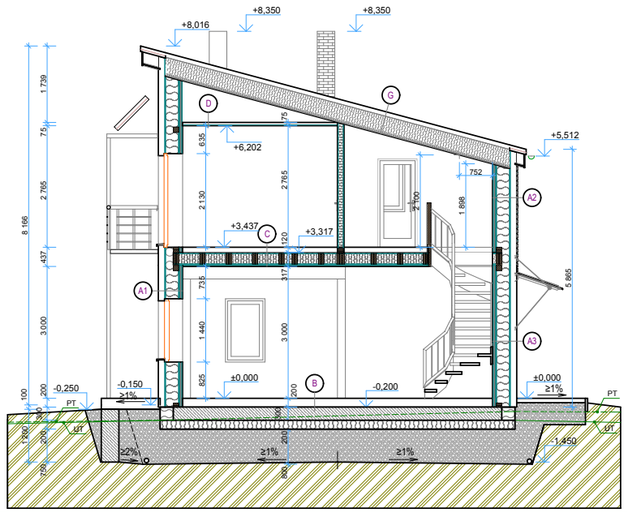
| | |
|---|---|
| FERMACELL | 15 mm |
| RÁM (60mm) | |
| TEPEL. IZOLACE Orsil Uni | 60 mm |
| FERMACELL | 15 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | 90 mm |

## V1 - VNITŘNÍ STĚNA VELOX

| | |
|---|---|
| ŠTĚPKOCEMENT. DESKA | 25 mm |
| TEPEL. IZOLACE | 50 mm |
| ŠTĚPKOCEMENT. DESKA | 25 mm |
| TEPEL. IZOLACE | 50 mm |
| ŠTĚPKOCEMENT. DESKA | 25 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | 175 mm |

## V2 - VNITŘNÍ STĚNA VELOX

| | |
|---|---|
| ŠTĚPKOCEMENT. DESKA | 25 mm |
| TEPEL. IZOLACE | 50 mm |
| ŠTĚPKOCEMENT. DESKA | 25 mm |
| TLOUŠŤKA CELKEM | 175 mm |




Výkres č. 5: Řez se skladbami
Drawing no. 5: Cross-section with compositions

Výkres č. 6: Pohledy
Drawing no. 6: Views

**Objemové parametry:**

| | | |
|---|---|---|
| Obestavěný prostor | horní stavba (termofasáda) | 668,0 $m^3$ |
| Zastavěná plocha | horní stavba (termofasáda) | 96,92 $m^2$ |
| Plochy v přízemí | základní (obytná) | 52,87 $m^2$ |
| | užitková plocha | 74,57 $m^2$ |
| Plochy v podkroví | základní (obytná) | 51,35 $m^2$ |
| | užitková plocha | 68,95 $m^2$ |

V přízemí je k dispozici strojovna topného systému, hala, učebna, zádveří a sociální prostory. V podkroví dvě učebny pro 12 studentů, kancelář, koupelna a chodba. Užívání osobami s omezenou schopností pohybu a orientace je řešeno v celém přízemí.

## 2.2. KONSTRUKČNÍ A MATERIÁLOVÉ ŘEŠENÍ OBJEKTU

### 2.2.1. ZÁKLADY

Na základě geologického průzkumu blízko postavených stojících staveb není spodní stavba založena na sesuvném nebo poddolovaném území, na tekutých píscích nebo plastických jílech. V půdorysu stavby se nemění charakter podloží a další faktory ovlivňující stabilitu a nerovnoměrné sedání základů. Pod násypem z drceného kameniva je zemina, která má únosnost více než 100 kPa.
Spodní stavbu tvoří plovoucí ŽB monolitická deska tl. 200 mm. ŽB deska je uložena na hutněném podsypu z drceného kameniva, tl. 800 mm. Přímo pod deskou je provedena tepelná izolace z XPS polystyrenu tl. 200 mm a zhutněna na E2,def = 40 MPa. Vrstva kameniva je odvodněna drenáží a svedena do místní ležaté kanalizace. Hydroizolace je navržena ve skladbě proti zemní vlhkosti a je provedena na horním líci ŽB desky. Průzkumem bylo zjištěno nízké zatížení radonem.

Navržené výrobky, materiály a hlavní konstrukční prvky:
- Betonová konstrukce C25/30 – XC1 – S2
- Betonářská výztuž B 500 A (10 505 (R)) a KARI sítě

Podkladní extrudovaný polystyren tl. 200 mm: Styrodur C, typ 3035 CS
- Dovolené trvalé tlakové napětí pod základovými deskami σ = 130 kPa
- Modul pružnosti E = 20 MPa

Násyp pod základy: Drcené kamenivo, značka G2-G3, štěrk špatně zrněný, frakce 16-32, hutněné po vrstvách na E2,def = 40 MPa (ověřeno na místě zkouškou) v celé vrstvě násypu. Bylo požadováno, aby relativní ulehlost aktivní zóny do hloubky 0,8 m pod polystyrenem (násypu) byla min. Id = 0,85. Hutnění násypu bylo prováděno po vrstvách tl. 200 mm.

Krytí výztuže bylo stavebním dozorem před betonáží řádně zkontrolováno.
Samotná betonáž, tvrdnutí a zrání betonu nebylo prováděno při teplotě pod 5°C. Pro jistotu byly do směsi přidány přísady proti promrznutí. Beton byl zakryt proti případnému dešti a mrazu.

### 2.2.2. HORNÍ STAVBA

Horní stavba domu je řešena v technologii moderní dřevostavby, používající při montáži stěnové, příčkové a stropní panelové dílce na bázi dřeva. Skladba obvodových konstrukcí je provedena v difúzně otevřeném systému s parobrzdou. Venkovní fasáda je tvořena kombinací nejčastějších zateplovacích systémů. Tvoří ji kontaktní zateplovací systém, provětrávaná fasáda s dřevěným obložením a provětrávaná fasáda s fasádními deskami. Plošná hmotnost nosných panelů nepřesahuje hodnotu 100 kg/$m^2$. Při navrhování dispozice se využívá modulové koordinace a unifikace stavebních dílů. Základním rozměrem je stavební modul šířky 600 mm. Z těchto pravidel následně vyplývají půdorysné a výškové



**Volume parameters:**

| | | |
|---|---|---|
| Enclosed area | top construction (thermal facade) | 668,0 $m^3$ |
| Built - up area | top construction (thermal facade) | 96,92 $m^2$ |
| Ground floor area: | basic (living area) | 52,87 $m^2$ |
| | utility | 74,57 $m^2$ |
| Attic | basic (living area) | 51,35 $m^2$ |
| | utility | 68,95 $m^2$ |

On the ground floor there are an engine room of the heating system, a hall, a classroom and sanitary facilities. In the attic there are 2 classrooms for 12 students, an office, a bathroom and a corridor.
The whole ground floor is designed with respect to users with impaired mobility and orientation.

## 2.2. CONSTRUCTION AND MATERIAL SOLUTION FOR THE BUILDING

### 2.2.1. FOUNDATIONS

Based on the geological exploration of nearby buildings, the bottom structure is not located on a landslide or undermined area, on quicksand or plastic clay. The character of the subsoil and other factors influencing the stability and uneven settling of foundations do not change in the ground plan. There is soil with carrying capacity of more than 100 kPa under a fill from crushed stones. The bottom structure consists of a floating monolith 200 mm reinforced concrete slab. It is laid on the 800 mm compacted sub-base of crushed stones. A 200 mm XPS polystyrene thermal insulation compacted to E2,def = 40 MPa is placed directly under the slab. The stone layer is drained and the drainage runs into the local horizontal sewerage. The hydro-insulation, designed with respect to ground dampness, is located on the top side of the reinforced concrete slab. An investigation showed only a very low radon presence.

Designed products, materials and main construction features:
- Concrete construction C25/30 – XC1 – S2
- Reinforcement B 500 A (10 505 (R)) and KARI nets

200 ml underlay extruded polystyrene: Styrodur C, type 3035 CS
- Permitted permanent compressive tension under foundation slab σ = 130 kPa
- Flexibility modulus E= 20 Mpa

The fill under the foundations: G2 – G3 crushed stones, coarse-grained gravel, fraction 16 – 32, compacted in layers to E2,def = 40 Mpa (verified through checks in the location) in the whole layer of the fill. The relative compactness of the active zone up to 0,8 m under the polystyrene (of the fill) was min. Id = 0,85. The compacting process of the fills was performed in individual layers of 200 mm.

The construction supervision properly checked the cover of the reinforcement prior to concreting. The concreting, hardening and ageing of the concrete was not performed during temperatures below 5°C. As a safety precaution, anti-freezing agents were added to the mixture. The concrete was covered to be protected from potential rain and frost.

### 2.2.2. TOP CONSTRUCTION

A modern timber-construction technology was used for the top construction of the building, which means that wall, partition and ceiling panels based on timber were used for the assembly. The composition of the peripheral structures is performed through a diffusion with a vapour barrier. The external facade consists of a combination of the most common insulation systems. It contains a contact insulation system, a ventilated facade with wooden panelling and ventilated facade with facade panels. The surface weight of load-bearing panels does not exceed 100 kg/$m^2$.

proporce domu. Spojování je provedeno sponkovými, vrutovými a hřebíkovými spoji. Použitý stavební a izolační materiál je z přírodních produktů s důrazem na ekologii.

### Stěny obvodové

Nosnou konstrukci obvodových stěn tvoří dřevěná rámová konstrukce z I-nosníků (60x300 mm, 90x300 mm), opláštěná z vnější strany sádrovláknitou deskou tl. 15 mm a z vnitřní strany parobrzdnou sádrovláknitou deskou tl. 15 mm. Toto opláštění přenáší horizontální a diagonální zatížení ze stropní konstrukce do úložné desky. Dutiny rámové konstrukce stěn jsou vyplněny tepelnou izolací z dřevěných vláken. Z vnitřní strany je stěna opatřena předstěnou (rám z dřevěných profilů 60x60 mm opláštěný sádrovláknitou deskou tl. 15 mm) opět vyplněnou tepelnou izolací z dřevěných vláken. Vnější stranu tvoří zateplovací systém z dřevovláknitých desek opatřený tenkovrstvou omítkou. Celková tloušťka obvodové stěny je 552 mm.

### Stěny vnitřní

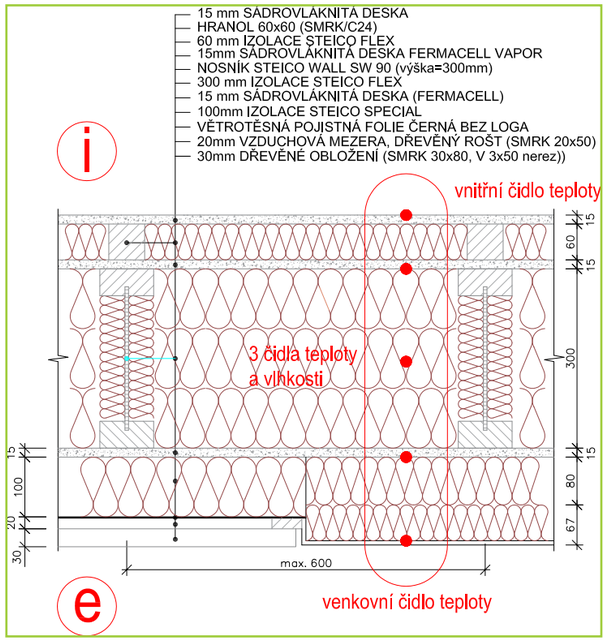
Vnitřní nosné stěny jsou z dřevěné rámové konstrukce (tl. 120 mm) a oboustranného opláštění sádrovláknitými deskami (tl. 15 mm). Rám je vyplněn tepelnou izolací z minerální plsti. Celková tloušťka stěny je 150 mm.
Vnitřní dělící stěny (nenosné) jsou z dřevěné rámové konstrukce (tl. 60 mm, tl. 120 mm) a oboustranného opláštění sádrovláknitými deskami (tl. 15 mm). Rám je vyplněn tepelnou izolací z minerální plsti. Celková tloušťka stěny je 90 nebo 150 mm.

### Stropy nad přízemím

Nosnou částí stropu mezi přízemím a podkrovím jsou dřevěné stropní nosníky 60x240 mm, na kterých je položen záklop z dřevotřískové desky 22 mm. Mezi nosníky je v tloušťce 120 mm umístěna akustická izolace z minerální plsti. Podhled ze sádrokartonových desek (2x12,5 mm) je přichycen do dřevěného latování (30x60 mm). Konstrukce podlahy je složena z kročejové izolace, anhydritového potěru a podlahové krytiny. Celková tloušťka stropu je cca 467 mm.

### Střešní konstrukce

Konstrukce střechy nad podkrovím využívá prostoru mezi dřevěnými I-nosníky (90x180 mm) k uložení tepelné izolace tl. 180 mm z dřevěných vláken. Na krokvích je v celé ploše připevněné další tepelně izolační souvrství určené pro nadkrokevní aplikace. Nad izolací je větraná vzduchová mezera a střešní latování pro upevnění plechové krytiny. Zespodu je na krokvích zavěšený sádrokartonový podhled vyplněný tepelnou izolací z dřevěných vláken tl.60 mm. Funkci parobrzdy zajišťuje sádrovláknitá deska s nakašírovanou folií. Celková tloušťka šikmého stropu (krovu) bez střešní krytiny je 652 mm.




Detail 1: Skladba obvodové stěny
Detail 1: Composition of the peripheral wall



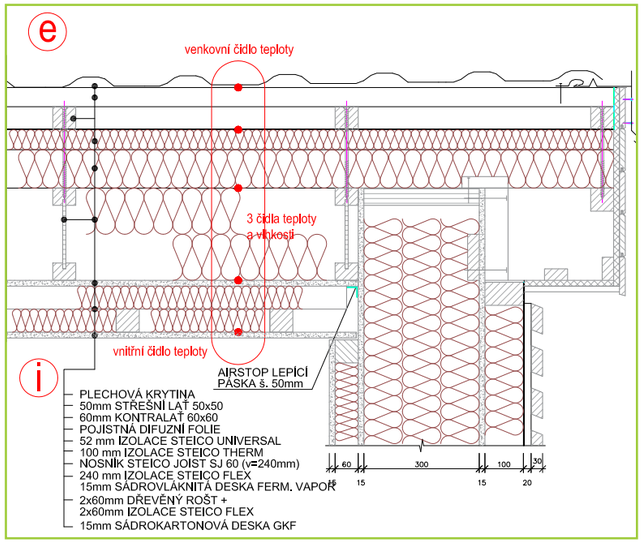
When designing the disposition, a modular coordination and unification of construction parts are used. A 600 mm wide construction models is used as the basic dimension. Consequently, the ground-plan and height proportions of the house are derived from these regulations. Clamps, screws and nails are used to connect the parts. The used construction and insulation material is made from natural products with respect to ecology and environment.

### Peripheral walls

The load-bearing construction of the peripheral walls consists of a frame structure from I-beams (60x300 mm, 90x300 mm), its external surface is covered with a 15 mm gypsum fibre-board and the internal surface with a 15 mm vapour barrier board. This panelling transfers the horizontal and diagonal load from the ceiling structure onto the bearing slab. Cavities of the frame structure are filled with wood-fibre insulation. From the inside, the wall consists of a pre-wall (60x60 mm timber frame profile panelling with a 15 mm gypsum fibre-board) and filled with wood-fibre thermal insulation. The external layer consists of wood-fibre panels with a thin layer of plaster. The total width of the peripheral wall is 552 mm.

### Internal walls

Internal load-bearing walls are made from a 120 mm thick timber frame construction and double-sided panelling from 15 mm thick gypsum fibre-boards. The frame is filled with mineral-felt insulation. The total width of the wall is 150 mm.
Internal partition walls (not load-bearing) are made from a timber frame construction (60 mm and 120 mm thick), double-sided panelling from 15 mm thick gypsum fibre-boards. The frame is filled with mineral-felt insulation. The total width of the wall is either 90 mm or 150 mm.




Detail 1: Skladba obvodové střechy
Detail 1: Composition of the peripheral the roof

### Ceilings above the ground-floor

The load-bearing parts of the ceilings between the ground-floor and the attic consist of 60x240 mm wooden ceiling beams, on which 22 mm hardboard decking is laid. A 120 mm acoustic mineral–felt insulation is placed between the beams. The ceiling made from 2x12,5 mm drywall panels is attached to timber battens (30x60 mm). The floor construction consists of sound insulation, anhydrite coat and floor cover. The total width of the ceiling is 467 mm.

### The roof construction

Thermal wood-fibre insulation is placed between the wooden I-beams (90x180 mm) of the roof construction above the attic. Another layer of thermal insulation is attached to rafters to insulate the above-rafter applications. Above the insulation there is a ventilated air gap and roof battings to attach the metal roofing to. From the bottom, a drywall ceiling filled with 60 mm thick thermal wood-fibre insulation is attached to the rafters. A gypsum fibre-board with a foamed film acts as a vapour barrier. The total width of the sloping ceiling (roof truss) without the roofing is 652 mm.

**Schodiště**
Je provedeno jako tříramenné, dřevěné bez podstupňů se dvěma bočními schodnicemi, do nichž jsou osazeny schodišťové stupně.

**Výplně otvorů**
Okna jsou dřevěná, lepený profil se zasklením je určen pro nízkoenergetické domy.
Součinitel prostupu tepla Uw = 0,71 W/m$^2$.K.
Vstupní dveře jsou dřevěné.
Součinitel prostupu tepla Uw = 1,0 W/m$^2$.K.

**NAVRHOVANÉ MATERIÁLY A JEJICH OHLED NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A ZDRAVOTNÍ NEZÁVADNOST**

- ŽB deska - na výrobu je potřeba méně betonu, než při založení na základových pasech
- nosné prvky – stavební smrkové řezivo
- opláštění - sádrovláknité a sádrokartonové desky
- Izolace - dřevovláknité desky, polystyren je z technických důvodů použit pouze pod spodní stavbou
- výplně otvorů - dřevěné
- fasáda – dřevovláknité desky, ze severní strany dřevěné obložení, ze strany západní cementovláknité fasádní desky.

Při dodržování pravidelné běžné údržby je životnost horní stavby stanovena na 100 a více let.

**2.2.3. ENERGETICKÁ KONCEPCE A PARAMETRY OBJEKTU**

**ENERGETICKÁ KONCEPCE OBJEKTU**
Z hlediska základních požadavků je tvarová a konstrukční koncepce řešena ve shodě se zásadami a pravidly, které jsou pro pasivní domy definovány v ČSN 75 0540-2 (2002). V níže uvedeném textu jsou popsány parametry, které byly při návrhu a realizaci zohledněny.

**Celková koncepce budovy:**

- tvarové řešení budovy (kompaktnost a členitost budovy) - poměr A/V v nízkých hodnotách
- maximální omezení příčin tepelných mostů v konstrukci a výrazných tepelných vazeb mezi konstrukcemi
- uspořádání vnitřní dispozice a tepelných zón s ohledem na orientaci ke světovým stranám
- volba umístění prosklených ploch fasády a jejich přiměřená velikost pro pasivní solární zisky a omezené přehřívání vnitřního prostoru

**Vytápění a chlazení:**

- vhodná koncepce a propojení systémů technického zařízení budovy
- účinná regulace pro snížení spotřeby energie na vytápění a chlazení
- rekuperace odváděného teplého a chladného vzduchu s využitím chlazení nočním vzduchem nebo zemním registrem a maximální omezení strojního chlazení
- u budov s vyššími prosklenými plochami zabezpečení vnitřního prostoru proti přehřívání
- využití stínících prostředků (žaluzie a slunolamy)

**Tepelné charakteristiky obvodových konstrukcí:**
Součinitel prostupu tepla všech obvodových konstrukcí na hranici vytápěného prostoru:

- Střešní konstrukce $U \leq 0,10$ W/m$^2$.K
- Obvodová stěna $U \leq 0,10$ W/m$^2$.K
- Podlaha přilehlá k zemině $U \leq 0,12$ W/m$^2$.K
- Okna $U_w \leq 0,8$ W/m$^2$.K



**Staircase**
The staircase is three-flight, wooden, without substeps with two stair stringers on the sides into which the steps are housed.

**Window panes and doors**
The windows with timber frames have a glued profile with glazing designated for low-energy houses.
The coefficient of heat transfer is Uw = 0,71 W/m$^2$.K
The entrance door is made of wood.
The coefficient of heat transfer is Uw = 1,0 W/m$^2$.K

**PROPOSED MATERIALS WITH RESPECT TO ENVIRONMENT, HEALTH AND SAFETY**

- Reinforced concrete slab – less concrete is necessary to make the slab compared to foundation strips
- Supporting elements – engineering spruce timber
- Panelling – gypsum fibre-board panels and dry-wall panels
- Insulation – wood-fibre panels, for technical reasons polystyrene was used only under the bottom structure
- Panes – made of wood
- Facade – wood-fibre panels, wooden panelling from the north, cement-fibre facade panels from the west

If regular maintenance is sustained, the life-span of the top structure is set at over 100 years.

**2.2.3. ENERGY CONCEPT AND PARAMETERS OF THE BUILDING**

**Energy concept of the building**
With respect to the basic requirements, the shape and construction concept is solved in line with the principles and regulations defined for passive houses in ČSN 75 0540-2 (2002). The below listed text describes parameters which were taken into account during the process of designing the building and its construction.

**The overall concept of the building**

- the shape of the building (compactness and segmentation of the building) – the surface area to volume ratio has low values
- maximum restrictions of thermal bridge causes and distinct thermal connections between constructions
- the layout of internal premises and thermal zones with respect to the orientation towards the four cardinal directions
- chosen locations of glassed areas in the facade and their appropriate size for passive solar gains and limited overheating of the interior

**Heating and cooling:**

- a suitable concept of connections between the technical equipment systems of the building
- effective regulation to reduce the energy consumption necessary for heating and cooling
- recuperation of extracted warm and cold air where cooling with night-time air or ground register with a maximum reduction of mechanical cooling is used
- for buildings with higher glassed surfaces the internal premises are secured against overheating
- use of shading (vertical sidebars and sun screens)

**Thermal characteristics of peripheral constructions:**
The coefficient of heat penetration of all peripheral constructions on the border of heated premises::

- The roof construction $U \leq 0,10$ W/m$^2$.K
- The peripheral wall $U \leq 0,10$ W/m$^2$.K
- The floor adjacent to the soil $U \leq 0,12$ W/m$^2$.K
- Windows $U_w \leq 0,8$ W/m$^2$.K

- Vstupní dveře $U_w \leq 1,2$ W/m².K
- Propustnost solárního záření výplněmi otvorů: Okna $g \geq 0,5$
- Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em} \leq 0,21$W/m².K

Lineární činitele prostupu tepla:

- Vnější stěna navazující na další vnější konstrukci, např. základ, strop nad nevytápěným prostorem, jinou vnější střechu, střechu, lodžii, balkón, arkýř, atd. $\psi_k \leq 0,2$ W/m.K
- Vnější stěna navazující na výplň otvoru $\psi_k \leq 0,03$ W/m.K
- Střecha navazující na výplň otvoru $\psi_k \leq 0,10$ W/m.K

**Kvalita vnitřního prostředí a tepelná ztráta výměnou vzduchu:**

Zpětné získávání tepla

- Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu $\eta \geq 85\%$

Spárová průvzdušnost

- Neprůvzdušnost obálky budovy ve fázi hrubé stavby $n_{50} \leq 0,6$ h$^{-1}$
- Neprůvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby $n_{50} \leq 0,6$ h$^{-1}$

**Teplotní pohoda v interiéru v přechodném a letním období**

- nejvyšší teplota vzduchu v letním období $\theta_i \leq 27$˚C

**Potřeba tepla na vytápění**

- Měrná potřeba tepla na vytápění EA ≤ 15 kWh/m².a

**Potřeba primární energie**

- Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé užitkové vody a technické systémy budovy PEA ≤ 60 kWh/m².a

**ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ A ENERGETICKÉ PARAMETRY OBJEKTU**

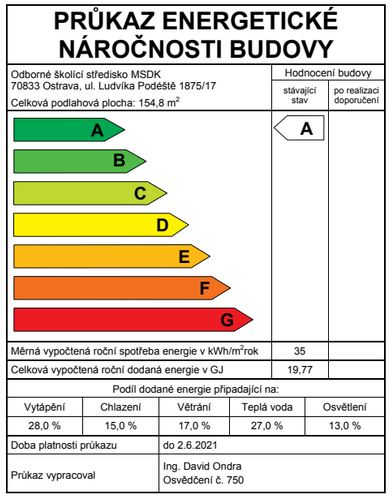
Objekt splňuje energetické parametry pro pasivní domy dle ČSN 730540-2(2002). Při započítání solárních zisků a uvolňovaného tepla přítomnými obyvateli lze uvažovat o malém rozdílu mezi spotřebovanou a potřebnou energií na vytápění. Přidáním fotovoltaických panelů, na které je středisko do budoucna připraveno je možné dosáhnout parametrů nulového domu.

**Výpočtové parametry:**

- Měrná spotřeba energie budovy $EP_a$: 35 kWh/m2.a
- Měrná potřeba tepla na vytápění budovy $E_a$: 10 kWh/m2.a
- Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy $U_{em}$: 0,13 W/m2.K
- Tepelná ztráta $\Phi_i$: do 2 kW

**Další skutečné parametry:**

- Součinitel prostupu tepla střešní konstrukce: U ≤ 0,09 W/m².K
- Součinitel prostupu tepla obvodové stěny: U ≤ 0,10 W/m².K
- Součinitel prostupu tepla podlahy přilehlé k zemině: U ≤ 0,12 W/m².K
- Součinitel prostupu tepla okna: $U_w \leq 0,71$ W/m².K
- Součinitel prostupu tepla vstupních dveří: $U_w \leq 1,0$ W/m².K
- Propustnost solárního záření výplněmi otvorů: g ≥ 0,5
- Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu: $\eta \geq 85\%$
- Neprůvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby: $n_{50} = 0,52$ h$^{-1}$
- Nejvyšší teplota vzduchu v letním období $\theta_i \leq 27$˚C




Obr.2: Průkaz energetické náročnosti budovy
Fig. 2: Energy performance certificate



- The entrance door $U_w \leq 1,2$ W/m².K
- The solar radiation permeability through window panes and doors: Windows $g \geq 0,5$
- Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em} \leq 0,21$ W/m².K

Linear factors of heat penetration:

- The external wall adjoining another external structure, e.g. foundations, ceiling above unheated space, another external roof, roof, loggia, balcony, bay window, etc. $\psi k \leq 0,2$ W/m.K
- The external wall adjoining a window or a door $\psi k \leq 0,03$ W/m.K
- The roof adjoining a window or a door $\psi k \leq 0,10$ W/m.K

**Quality of external environment and heat loss through air recuperation:**

Heat recovery

- Recovery efficiency of heat from extracted air $\eta \geq 85\%$

Joint air permeability

- Non-permeability of the building envelope in the stage prior to internal completio $n_{50} \leq 0,6$ h$^{-1}$
- Non-permeability of the building envelope after the completion $n_{50} \leq 0,6$ h$^{-1}$

**Range of temperature contentment in the interim period and in the summer period**

- The highest air temperature in the summer $\theta_i \leq 27$˚C

**Heat requirement for heating**

- Specific consumption for heating EA ≤ 15 kWh/m².a

**Potřeba primární energie**

- Requirement of primary energy from non-renewable sources for heating, heating service water and the technical system of the building PEA ≤ 60 kWh/m².a

**BASIC TECHNICAL AND ENERGY PARAMETERS OF THE BUILDING**

The building complies with energy parameters for passive houses under ČSN 730540-2(2002). After including solar gains and temperature released by occupants present in the building, we can predict only a small difference between the energy used and needed for heating. It is possible to achieve parameters of a zero-energy building by adding photovoltaic panels in future, for which the centre is prepared.

**Calculation parameters:**

- Specific energy consumption of the building $EP_a$: 35 kWh/m².a
- Specific heat consumption for heating the building $E_a$: 10 kWh/m².a
- Average coefficient of heat penetration of the building envelope $U_{em}$: 0,13 W/m².K
- Heat loss $\Phi_i$: do 2 kW

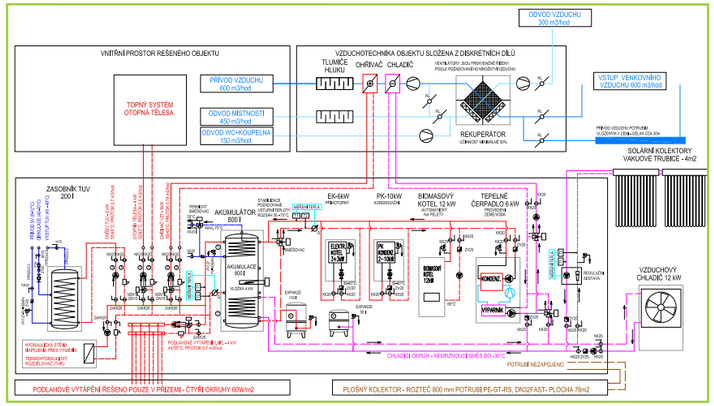
**Další skutečné parametry:**

- Coefficient of heat penetration through roof structure: U ≤ 0,09 W/m².K
- Coefficient of heat penetration through peripheral wall: U ≤ 0,10 W/m².K
- Coefficient of heat penetration through the floor adjacent to the soil: U ≤ 0,12 W/m².K
- Coefficient of heat penetration through the window: $U_w \leq 0,71$ W/m².K
- Coefficient of heat penetration through the entrance door: $U_w \leq 1,0$ W/m².K
- Permeability of solar radiation through window panes and doors: g ≥ 0,5
- Recovery efficiency of heat from extracted air: $\eta \geq 85\%$
- Non- permeability of the building envelope after the completion: $n_{50} = 0,52$ h$^{-1}$
- The highest air temperature in the summer $\theta_i \leq 27$˚C

## 2.2.4. TECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ OBJEKTU

### 2.2.4.1. VYTÁPĚNÍ

Systém vytápění obsahuje nadřazenou regulaci navržených tepelných zdrojů s možností využití pro výzkumné a výukové účely. Systém umožňuje měření všech potřebných veličin, toků, výkonů a tepelné energie. Výstupy MaR jsou vyvedeny na PC s grafickým zobrazením daného schématu, zvoleného zdroje i otopné soustavy. Jelikož se jedná o nízkoenergetickou stavbu, je nutno při prováděné výuce a potřebných měřeních zajistit chlazení topné vody tak, aby byl zajištěn vždy odvod přebytečné tepelné energie. Toto platí zejména při vytápění objektu zdrojem s vyšším výkonem, které se v nízkoenergetických domech zpravidla nepoužívají (plynový kotel, peletková kamna). Základním zdrojem pro vytápění objektu byl zvolen elektrický kotel. VZT je možné používat dvěma způsoby – teplovzdušné vytápění a řízené větrání. Oboje s rekuperací odpadního tepla (koupelna, soc. zařízení) s možností sledování významu přívodního podzemního registru. Rozvody potrubí pro vytápění a vzduchotechniku jsou v prostoru strojovny viditelné. Navíc je v prostoru strojovny provedena možnost připojení vlastního zdroje skrze komín. Pro studijní účely je možná ukázka a demonstrace vnitřního zařízení tepelných zdrojů. Mezi zdroji lze porovnat účinnost a vliv na vnitřní prostředí vytápěného objektu.




Obr.3: Schéma strojovny topného systému a VZT
Fig.3: Scheme of the heating and mechanical ventilation in the engine room

### POPIS SYSTÉMU

Celkový popis systému i následující podrobné řešení navazuje na výkres schématu celkové navržené technologie. Základem zařízení je akumulátor tepelné energie o objemu 800 litrů s integrovanou funkcí chladiče topné vody při přebytku tepelného výkonu. Tepelná energie je dodávána z instalovaných tepelných zdrojů o teplotě dané využívaným zařízením. Výstup z akumulátoru je odebírán v nejnižším bodu o teplotě cca 35°C. pomocí směšovače je možno nastavit požadovanou teplotu zpětné vody v rozmezí 35 – 65°C.
Odvod ztrátového tepla je zajištěn pomocí trubkového tepelného výměníku osazeného ve spodní 1/3 akumulátoru. Náplň nemrznoucí kapalinou ( např. 30% etylenglykol ) umožní celoroční provoz venkovního chladiče o výkonu cca 12 kW s frekvenčně řízeným ventilátorem tak, aby teplota směsi při provozu nepoklesla pod 0°C.

Tepelné zdroje (elektrokotel, plynový kondenzační kotel, kotel na biomasu a tepelné čerpadlo) jsou napojeny do společného sběrného potrubí. Při výuce a provozech se předpokládá chod vždy pouze jednoho tepelného zdroje. Z tohoto důvodu je řízení teploty vstupní vody a měření tepla pro všechny zdroje společné.

Solární systém využívá (pro zjednodušení schématu) napojení do systému nemrznoucí směsi. Při měření je chladící ventilátor vypnut, v případě přebytku výkonu solárních panelů (což nastane v letním období i mimo provoz střediska) je pomocí ventilátoru zajištěn celoroční odvod přebytečného tepla a nedojde tak k přehřívání solárního systému ani akumulační nádrže.
Pro zdroj chladu pro vzduchotechniku je využito tepelné čerpadlo, chlad je odebírán z primárního systému TČ. Nemrznoucí



## 2.2.4. TECHNICAL EQUIPMENT OF THE BUILDING

### 2.2.4.1. HEATING

The heating system includes a superior regulation of the designed heat sources with the possibility to utilise them for research and educational purposes. The system enables to measure all necessary quantities, flows, powers and thermal energy. BMS outputs are connected to a PC with a graphic display of the given scheme, the selected source and the heating system. It is necessary to ensure the cooling of the heating water to provide the removal of the thermal energy during lessons and during necessary measurements, since this is an energy-efficient house. This is especially the case when the building is heated by a source with a higher power, which is not typically used in energy-efficient houses (gas boiler, pellet stove). An electric boiler was selected as a primary heating source for the building. Mechanical ventilation can be used in two ways - the air heating and the controlled ventilation. Both with the waste heat recovery (bathroom, sanitary facilities) and with the possibility to monitor the importance of the underground supply register. Distribution pipes for the heating and the ventilation are visible in the engine room. Further, it is possible to connect one's own source through the chimney in the premises of the engine room. It is possible to illustrate and demonstrate the internal equipment of the heating sources for study purposes. The effectiveness and the impact of the sources on the environment inside the heated building can be compared.

### DESCRIPTION OF THE SYSTEM

The overall description of the system and the following detailed solution are connected to the design scheme of the overall proposed technology. The basis of the unit is a thermal energy accumulator with the capacity of 800 litres with an integrated cooler of heating water during the times of an excessive heat output. The thermal energy is supplied from installed heat sources with the temperature specified by the used device. The output of the accumulator is taken at the lowest point at temperature of about 35˚C. Return water temperature can be adjusted with a mixer between 35 and 65˚C.

The removal of loss heat is provided with a tubular heat exchanger fitted in the bottom third of the accumulator. Antifreeze liquid (e.g. 30% ethylene glycol) allows an all year-round operation of an outdoor cooler with capacity of about 12 kW with a frequency-controlled fan so that the temperature of the mixture does not fall below 0˚C during its operation.
The heat sources (electric boiler, gas condensing boiler, biomass boiler and heat pump) are connected to a shared manifold. It is expected that only one heat source will be run during lessons and in the operation mode. For this reason, controlling system of the incoming water temperature and the heat measurement is shared by all heat sources.
The solar system uses (to simplify the diagram) a connection to the antifreeze mixtures system. The cooling fan is off during measurements. In case of excessive production of solar panels (which occurs in the summer and outside of the opening hours of the centre), an all year-round surplus heat removal is provided by a fan; therefore neither the solar system nor the accumulation tank will overheat.

A heat pump is used a cooling source for the air conditioning system. Heat is removed from the primary system of the heat pump. The antifreeze of a required temperature is brought into the cooler of the air conditioning unit. If we reduce the air flow to 3/6˚C, it is possible to reduced the air temperature to 12˚C in the summer and subsequently it is possible to warm it up again. In this way, it is possible to illustrate dehumidification of the air to the relative humidity level of about 60% under any outdoor conditions as well.

směs o požadované teplotě je vyvedeno do chladiče VZT jednotky, snížením tepelného spádu na teplotu 3/6°C je možno snížit v letním období teplotu vzduchu až na 12°C a následně ohřát. Tímto způsobem lze názorné ilustrovat i odvlhčení vzduchu na hodnotu relativní vlhkosti cca 60% při libovolných venkovních podmínkách.

**Výuková sestava tepelných zdrojů:**

- přímotopný elektrokotel o příkonu 6 kW
- elektrická spirála o příkonu 2 kW
- plynový kondenzační kotel o regulovatelném výkonu v rozsahu 2 – 10 kW
- automatický kotel na spalování pelet o výkonu do cca 12 kW
- tepelné čerpadlo země/voda o výkonu 6 kW
- solární systém s vakuovými trubicemi o ploše cca 4 $m^2$

**Otopné soustavy objektu:**

- desková otopná tělesa dimenzována na tepelný spád 50/43°C
- podlahové vytápění dimenzované na tepelný spád 40/35°C
- vytápění VZT dimenzované na teplená spád 50/43°C
- chlazení VZT dimenzované na tepelný spád 6/12°C
- ohřev teplé vody (TV) dimenzovaný na tepelný spád 55/48°C

Topné soustavy odebírají potřebnou tepelnou energii z horních vrstev tepelného akumulátoru, zpětná voda je vracena do akumulátoru nad úrovní vložené chladící vložky. Každý okruh je vybaven cirkulačním čerpadlem s elektronickou regulací tlakové diference a směšovačem pro nastavení požadované teploty topné vody. S ohledem na provoz TČ jsou navrženy i výpočtové parametry topných systémů. Pro vytápění objektu mimo dobu výuky se předpokládá využití naakumulované tepelné energie z výukového provozu tepelných zdrojů, popřípadě solární energií. S ohledem na navržený pasivní dům se trvalý provoz definovaného tepelného zdroje nepředpokládá (je však možný).

## PODROBNÝ POPIS JEDNOTLIVÝCH TEPELNÝCH ZDROJŮ

### Akumulátor tepla 800 litrů

Atypický akumulátor 800 litrů zajišťuje dokonalé kvantitativní i tlakové oddělení okruhu tepelných zdrojů od topných okruhů. Pro akumulaci je využita horní část akumulátoru o objemu cca 500 l, která umožní při rozdílu teplot 10°C akumulaci cca 6 kW což plně postačuje akumulovat hodinový výkon osazených tepelných zdrojů. Přívodní potrubí je napojeno v horní části, výstupní potrubí vyvedené k tepelným zdrojům je vyvedeno ze spodní části akumulátoru. V akumulátoru je instalována elektrická topná vložka o příkonu 4 kW vybavená vlastním provozním termostatem nastaveným na 50°C a havarijním termostatem nastaveným na 80°C. Tato vložka bude použita pro temperaci objektu při dlouhodobém odstavení v zimním období (prázdniny mezi semestry).
Pro dosažení výstupní teploty cca 35°C do systému o kruhu tepelných zdrojů je ve spodní 1/3 akumulátoru instalován trubkový výměník (chladič) vyvedený na suchý venkovní chladič. Tento okruh je s ohledem na část umístěnou mimo objekt naplněn nemrznoucí kapalinou s bodem tuhnutí pod -25°C. Tento výměník slouží i pro využití tepelné energie ze solárních kolektorů. Akumulátor tepla je vybaven jímkami pro instalaci teploměrů a teplotních čidel regulace. Jsou osazeny 4 ks čidel pro kontrolu teploty vody a množství akumulované tepelné energie. Další dvě čidla jsou osazena na vstupním a výstupním potrubí okruhu zdrojů.

### Chladič a okruh nemrznoucí směsi

Tento okruh zajišťuje chlazení topné vody ve spodní části akumulátoru a s ohledem na celoroční provoz je naplněn nemrznoucí směsí 30% etylenglykol (koncentrace na -25°C). Pokud je nutno chladit topnou vodu (signál od teplotních čidel) je spuštěno cirkulační čerpadlo nemrznoucí směsi a frekvenčním řízením ventilátoru je udržována teplota výstupní zpětné vody na hodnotě cca 35°C. Suchý chladič o výpočtovém výkonu cca 12 kW při teplotě venkovního vzduchu 25°C je instalován za objektem na dvou betonových pasech. Frekvenční regulací otáček ventilátoru je udržována potřebná teplota vody ve spodní části akumulátoru.



**Education set of heat sources:**

- direct-heating electric boiler with the power of 6 kW
- electrical coil with the power of 2 kW
- gas condensing boiler with an adjustable power in the range of 2 to 10 kW
- automatic pellet boiler with the output of up to 12 kW
- heat pump ground/ water the power of 6 kW
- solar system with vacuum tubes with the area of approx. 4 $m^2$

**The heating systems of the building:**

- panel radiators rated at the thermal gradient of 50/43°C
- floor heating rated at the thermal gradient of 40/35°C
- ventilation heating rated at the thermal gradient of 50/43°C
- ventilation cooling rated at the thermal gradient of 6/12°C
- hot water heating (HW) rated at the thermal gradient of 55/48°C

The heating systems collect the necessary thermal energy from the upper layers of the heat accumulator. Return water is sent back into the accumulator above the level of the inserted cooling pad. Each circuit is equipped with a circulation pump with an electronically controlled differential pressure and with a mixer so that a desired heating water temperature could be set. Calculation parameters of the heating systems are designed with respect to the heat pump operation as well. So that the premises could be heated outside of the lessons, it is expected that the accumulated heat energy from the educational operation mode of the heat sources or solar energy will be used. We do not presume a continuous operation of the defined heat source (although it is possible) with respect to the proposed passive house.

## DETAILED DESCRIPTION OF PARTICULAR HEAT SOURCES

### 800 litre heat accumulator

800 litters atypical heat accumulator provides a perfect quantitative and pressure separation of the heat sources circuit from the heating circuits. The upper part of the accumulator, with the capacity of approx. 500 l which allows accumulation of approx. 6 kW at the difference of temperatures of 10 °C, is used for such accumulation which is sufficient to accumulate an hourly output of the installed heat sources. The inlet pipe is connected at the upper part. The outlet pipe leading to the heat sources is brought out from the bottom part of the accumulator. An electric immersion heater with the power of 4 kW equipped with its own operating thermostat set at 50°C and a safety thermostat set at 80°C is installed in the accumulator. This immersion heater will be used to maintain moderate heating of the building during a long-term shutdown period in the winter (holidays between semesters).
To achieve the outlet temperature of about 35°C, a tubular heat exchanger (cooler) leading into a dry outdoor cooler is installed into the system of heat sources circuits in the lower third of the accumulator. This circuit is, with respect to the part located outside the building, filled with antifreeze with a freezing point below -25°C. This exchanger also uses heat energy from solar connectors. The heat accumulator has pools for installation of thermometers and controlling temperature sensors. Four pieces of sensors to control water temperature and the amount of accumulated thermal energy are fitted. Another two sensors are fitted at the inlet and outlet piping of resources circuits.

### Cooler and antifreeze circuit

This circuit cools down the heating water in the lower part of the accumulator and it is filled with antifreeze mixture of 30% ethylene glycol (concentration at -25°C) with respect to the all year-round operation. If it is necessary to cool the heating water (the signal from the temperature sensors), the antifreeze circulating pump is switched on and a fan with frequency speed control maintains the temperature of the outlet return water at approximately 35° C. A dry cooler with the computational power of about 12 kW during the outside air temperature of 25°C is installed behind the building on two concrete strips. The required water temperature at the lower part of the accumulator is maintained by the fan with frequency speed control.

Okruh nemrznoucí směsi je dále využíván i pro další technologické zařízení:

- odvod chladu z primárního okruhu tepelného čerpadla
- přenos tepla ze solárních vakuových kolektorů do akumulátoru, popřípadě do chladiče (při přebytku tepelné energie)
- chlazení klimatizace z primárního okruhu tepelného čerpadla

**Napojení tepelných zdrojů**

Tepelné zdroje jsou napojeny na společné potrubí za předpokladu provozu vždy pouze jediného zdroje. Nastavení teploty zpětné vody vstupující do tepelných zdrojů je provedena směšovačem. Tato regulace umožňuje stabilizaci teploty na požadovanou hodnotu podle provozovaného zdroje. Tuto teplotu lze při provozu měnit a tím sledovat u tepelného čerpadla hodnotu COP a u kondenzačního kotle účinnost při kondenzaci (vstup cca 40°C) a bez kondenzace (vstup cca 55°C). Na toto potrubí jsou jednotlivé zdroje napojeny přes uzavírací kulové kohouty a zpětné klapky (zamezeno zpětné cirkulaci při odstavení).

**Měření vyrobené a spotřebované energie**

Ve zpětném potrubí okruhu zdrojů je osazen průtokoměr ultrazvukového měřiče tepla, na obou potrubích pak párované snímače teploty. Měřič tepelné energie umožňuje odečítat veškeré hodnoty nutné pro určení účinnosti v daném okamžiku provozovaného tepelného zdroje. Napájení el. energií tepelných zdrojů bude vybaveno společným třífázovým elektroměrem umožňujícím odečítání spotřebované elektrické energie provozovaného tepelného zdroje (součást elektroinstalace a MaR).

**Elektrokotel**

Je navržen elektrokotel s elektrickým příkonem 6 kW vybavený veškerým zařízením pro autonomní provoz (cirkulační čerpadlo, exp. nádoba, provozní a zabezpečovací prvky). Provoz elektrokotle je řízen z nadřazené regulace a podle potřeb výuky.

**Plynový kotel**

Je navržen kondenzační nástěnný plynový kotel s modulovaným výkonem hořáku cca 2 – 10 kW. vybavený veškerým zařízením pro autonomní provoz (cirkulační čerpadlo, exp. nádoba, provozní a zabezpečovací prvky). Odvod spalin i přívod spalovacího vzduchu je proveden třívrstvým ocelovým komínem přes obvodovou stěnu do vnějšího prostoru (odvod spalin proveden nad úroveň střechy). Provoz plynového kotle je řízen z nadřazené regulace a podle potřeb výuky. Spotřeba zemního plynu je odečítána z fakturačního plynoměru (jedná se o jediný spotřebič zemního plynu).

**Kotel na spalování biomasy - peletky**

Jsou umístěna malá automatická peletková kamna s hořákem na spalování dřevních peletek s regulovatelným tepelným výkonem do 12 kW. Pro sledování přesné spotřeby paliva je nutné zvážení spáleného množství. Při sledování účinnosti je tak známa spotřeba paliva, spotřeba elektrické energie pro ventilátory a na měřiči tepla pak bude odečítána výroba tepla.

**Tepelné čerpadlo**

Je zapojeno malé teplené čerpadlo v provedení země/voda o tepelném výkonu cca 6 kW s elektrickým příkonem cca 2 kW, vybavené veškerým zařízením pro autonomní provoz (cirkulační čerpadla primární i sekundární strany, provozní a zabezpečovací prvky). Připojení sekundární strany (výstup do systému) je provedeno v dimenzi DN20. Pomocí směšovače na straně topné vody lze nastavovat teplotu vstupující vody od 35 do 50°C. Odvod chladu je proveden do chladícího okruhu naplněného nemrznoucí směsí (30% etylenglykol). Tepelná energie je čerpána ze systému chlazení akumulátoru a z venkovního vzduchu. Teplota vstupující vody na primární straně TČ je podle potřeb regulovatelná v celém provozním pásmu TČ v rozsahu -5 až +15°C. Na základě snímaných energií – spotřebovaná elektrická energie a vyrobená tepelná energie lze v relativně krátkých časových úsecích sledovat vliv změn teplot primární i sekundární strany na velikost faktoru násobnosti COP. Provoz tepelného čerpadla je řízen z nadřazené regulace a podle potřeb výuky. Tepelné čerpadlo lze



Antifreeze circuit is also used for other technological equipment:

- removal of the heat from the primary circuit of the heat pump
- transfer of the heat from the vacuum solar collectors into the accumulator or into the cooler (during the surplus of thermal energy)
- cooling of air condition from the primary circuit of the heat pump

**Connections of heat sources**

The heat sources are connected to a shared pipeline provided that only one source is always running. A mixer sets the temperature of the return water entering the heat sources. This control allows to stabilise the temperature on a desired level according to the source which is currently run. This temperature can be altered during the operation. Therefore, it is possible to monitor the coefficient of performance (further as COP) of the heat pump; for the condensing boiler it is possible to monitor the efficiency with the condensation (input of about 40°C) and without the condensation (input of about 55°C). Individual sources are connected to this pipeline through isolating ball valves and backflow valves (this prevents the re-circulation when the system is shut down).

**Measurements of produced and consumed energy**

A flow-meter for an ultrasonic heat meter is fitted in the circuit of the return pipes of the sources on both lines, followed by paired temperature sensors. A thermal energy meter allows to read all values necessary to establish the efficiency of an operating heat source in a particular moment. The supply of electricity into the heat sources will be fitted with a shared three-phase electricity meter allowing to read the consumed electricity of the operated heat source (a part of wiring and BMS).

**Electric boiler**

An electric boiler with the electricity input of 6kW equipped with all facilities for autonomous operation (circulation pump, expansion vessel, operating and safety elements) is designed. The operation of the electric boiler is controlled by the superior control system and according to the educational/training needs.

**Gas boiler**

A wall mounted condensing gas boiler with the modulated output of the burner of about 2 – 10 kW equipped with all facilities for the autonomous operation (circulation pump, expansion vessel, operating and safety elements) is proposed. Both the flue and the combustion air supply is provided by a three-layer steel chimney through the peripheral wall into the outer space (the flue is performed above the roof). The gas boiler operation is controlled by the superior control system and according to the educational/training needs. The natural gas consumption is subtracted from readings of the gas meter (this is the only natural gas appliance).

**Boiler for the combustion of biomass - pellets**

A small automatic pellet stove with a burner for wooden pellets combustion with the adjustable heat output of up to 12 kW is placed in the building. It is necessary to weigh the burned quantity to monitor the precise fuel consumption. Therefore, when we monitor the efficiency, we can identify the fuel consumption, the electricity consumption for fans and then we can read the heat production on the heat meter.

**Heat pump**

A small ground/water type heat pump with the heat output of about 6 kW and with the electrical input power of about 2 kW equipped with all facilities for an autonomous operation (both primary and secondary circulation pumps, operating and safety elements) is connected. The connection of the secondary side (output into the system) is performed in DN20 dimension. The heating water mixer can adjust the temperature of the inlet water between 35 and 50°C. The heat is extracted into the cooling circuit filled with antifreeze (30% ethylene glycol). The thermal energy is drawn from the accumulator cooling system and from the outdoor air. The water temperature entering on the primary side of the heat pump is adjustable according to the needs across the whole operating range of the heat pump between -5 and +15°C.

využít v letním období i k výrobě chladu pro vzduchotechniku. Chladič vstupujícího vzduchu je napojen na primární okruh tepelného čerpadla s nastavením teploty primární vody na hodnotu cca +3/+6°C. Tato nízká teplota umožní i aplikaci sušení vstupního vzduchu v letních měsících na kondenzační teplotu cca +12°C a následný ohřev na požadovanou teplotu cca 20°C. Tepelná energie bude při tomto provozu odváděna do akumulátoru, kde bude částečně využita k dohřevu vzduchu po odvlhčení, přebytek bude odveden chladičem do venkovního vzduchu.

**Solární systém**

S ohledem na názornost výuky jsou instalovány solární panely na zem vedle objektu. Vakuové trubicové kolektory jsou ve sklonu cca 70° - 80°. Tento sklon snižuje tepelný výkon v letním období a naopak navyšuje tepelný výkon v zimním období. Přenos tepla bude proveden nemrznoucí směsí umožňující celoroční provoz. S ohledem na zjednodušení celého systému je tepelná energie ze solárních panelů převedena do okruhu chladiče a přes vložený trubkový výměník pak do akumulátoru tepla. Pro měření vyrobené tepelné energie slouží instalovaný systém. Pro letní chlazení při přebytku tepelné energie je využit dostatečně dimenzovaný chladič. Jeho chod (včetně cirkulačního čerpadla) spínán v období mimo výuku automaticky při dosažení teploty v akumulátoru 70°C.

## POPIS TOPNÝCH SYSTÉMŮ

Z důvodů výuky a odvodu tepla z tepelných zdrojů jsou instalovány nejčastěji používané topné systémy, vzduchotechnika a ohřev TV. Tepelná energie pro tyto systémy je odebírána z výukových topných provozů uvedených zařízení. Odběr je proveden z horního výstupu akumulátoru, zpětná voda je vracena do 1/3 výšky tak, aby při odstavení zdrojů nedocházelo k jejímu ochlazování. Všechny systémy jsou vybaveny vlastními cirkulačními čerpadly a samostatnou regulací teploty směšováním.

**Desková otopná tělesa**

Ve prostorech 2.N.P. jsou instalována desková otopná tělesa (v koupelně trubková) navržená na tepelný spád 50/43°C (s ohledem na parametry TČ). Rozvod je proveden v kombinacích měděného a plastového potrubí. Otopná tělesa budou vybavena termostatickou hlavicí. Chod cirkulačního čerpadla i směšovač okruhu ovládá centrální řídící systém.

**Podlahový topný systém**

Podlahové vytápění je navrženo pouze v 1. N.P. Topný systém je navržený na tepelný spád 40/35°C. Konstrukce podlahy je uspořádána podle zvoleného systému podlahového vytápění. Regulace bude provedena podle vnitřní teploty. Rozvod je proveden ve čtyřech okruzích: sociální zařízení, technická místnost, učebna a hala.

**Vzduchotechnika**

Vlastní vzduchotechnika je řešena samostatným projektem. V systému VZT je použit oddělený výměník pro chlazení a ohřev vzduchu. Navržený systém zdrojů tepla a chladu umožňuje realizovat ve vzduchotechnice následující provozní stavy:

- větrání prostorů objekt a sociálního zařízení v době mimo provoz
- zajištění požadované výměny cca 600 $m^3$ při provozu zařízení (20 $m^3$/osoba) za předpokladu minimálně 50% rekuperace
- v zimním období vytápění s 80% recirkulací vzduchu
- v letním období chlazení vzduchu cca 600 $m^3$ umožňující odvod tepelných zisků
- v extrémních letních dnech umožnuje odvlhčování vzduchu a následný ohřev na požadovanou vstupní teplotu. K dispozici je chlad 3/6°C a topná voda 50/43°C z provozu TČ.



Based on scanned energies - the consumed electric energy and the produced thermal energy, it is possible to monitor the impact of temperature changes in both the primary and secondary side on the multiplicity COP factor in relatively short intervals. The operation of the heat pump is controlled from the superior control system and according to the educational/ training needs. The heat pump can produce cold air for the mechanical ventilation in the summer as well. The inlet air cooler is connected to the circuit of the primary heat pump with the primary water temperature setting to approx. +3 / +6 °C. This low temperature allows also drying the inlet air to the condensation temperature of about +12°C and subsequent heating to the desired temperature of about 20°C in the summer months. The thermal energy will be extracted into the accumulator where it will be partially used to reheat the air after dehumidification. The excess will be extracted by the cooler into the air outside.

**Solar system**

Since it is necessary to illustrate the functioning of solar panels during training and education, the solar panels are installed on the ground next to the building. The slope of the vacuumed tube collectors is about 70°- 80°. This gradient reduces the thermal performance in summers and, on the contrary, it increases the thermal performance in winters. The heat transfer will be provided via antifreeze to allow all year-round operation. To simplify the whole system, the thermal energy is transferred from the solar panels into the radiator circuit, next through an inserted tube heat exchanger and then into the heat accumulator. The installed system measures the produced thermal energy. An adequately dimensioned cooler is used for cooling when there is excessive thermal energy in the summer. Its operation (including the circulation pump) is automatically switched on when the temperature in the accumulator reaches 70°C during the times outside the lessons/ training period.

## DESCRIPTION OF THE HEATING SYSTEMS

The most commonly used heating systems, i.e. mechanical ventilation and hot air heating, are installed for the purposes of training and education and also for the purpose of heat removal. The thermal energy for these systems is drawn from the training heating operations of those facilities. It is extracted from the top output of the accumulator. The return water is filled to one third of the height so that it would not cool down when the system is shut down. All systems are equipped with their own circulation pumps and a separate temperature control through mixing.

**Panel radiators**

Panel radiators (tube radiators in the bathroom) designed for the thermal gradient of 50/43°C (and with respect to the heat pump parameters) are installed on the second floor. Distribution pipes combine copper and plastic. The radiators will be fitted with thermostatic heads. The operations of the circulating pump and of the circuit mixer are controlled by the central control system.

**Floor heating systems**

The floor heating is planned for the 2nd floor only. The heating system is designed for the temperature gradient of 40/35°C. The floor construction complies with the selected floor heating system. The heating will be controlled according to the internal temperature. It will be distributed in four areas: sanitary facilities, the utility room, the classroom and the hall.

**Mechanical ventilation**

There is a separate project for the mechanical ventilation. A separate heat exchanger for air cooling and heating is used in the mechanical ventilation system. The designed heating and cooling systems enable to implement the following operating modi: - ventilation of the building and sanitary facilities out of the opening hours

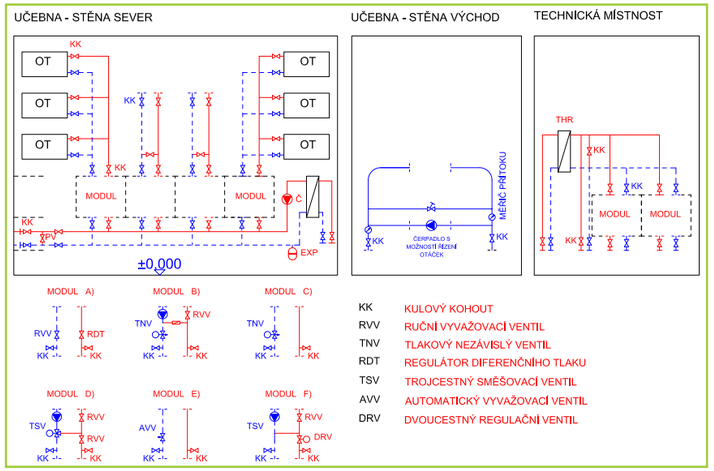
- securing the required exchange of approx. 600 $m^3$ during the operation (20 $m^3$/person), assuming at least 50% heat recovery
- heating with 80% air re-circulation in the winter
- enables dehumidifying and subsequent heating up to the required inlet temperature in extreme summer days. The heat of 3/6°C and the heating water of 50/43°C from the heat pump operation are available

### Ohřev TV (teplé vody)

Ohřev teplé vody je proveden v akumulačním kombinovaném zásobníku o objemu 200 l s teplovodní vložkou dimenzovanou na tepelný spád 55/48°C. Topná voda pro ohřev je odebírána z akumulátoru tepla, což umožnuje ohřev tepelnou energií ze všech dostupných tepelných zdrojů. Pro názornost je umístěn TV s cirkulační smyčkou. Jako druhá varianta ohřevu je TV ohřívána průtočně ve vložené trubce v horní 1/3 akumulátoru. Lze využít tepelnou energií ze všech zdrojů, avšak bez možnosti regulace teploty (teplota v akumulátoru může dosáhnout až 80°C). Z tohoto důvodu je na výstupním potrubí osazen automatický směšovač s vlastním termickým pohonem nastaveným na teplotu 50°C. Oba zdroje budou zapojeny paralelně, o způsobu ohřevu rozhodne obsluha zařízení.

### HYDRAULICKÁ SESTAVA OTOPNÉHO SYSTÉMU

Hydraulická sestava umožňuje zapojovat zjednodušené otopné sestavy s různými regulačními armaturami a sledovat jejich chování. K dispozici je praktická ukázka vyvažování otopných sestav a na měřící stolici určení charakteristik regulačních a pojistných armatur. V prostorách strojovny je možné ukázat zapojení kotlového okruhu, kaskádu dvou kotlů, zapojení do rozdělovače/slučovače, THR nebo bypassu.




Obr.4: Schéma hydraulické stěny
Fig.4: Hydraulic wall diagram

### POZNÁMKA

Navržený systém tepelných zdrojů, chlazení a otopných systémů je základní a vychází z požadavků na výuku a praktickou ukázku funkce jednotlivých otopných systému a tepelných zdrojů. Systém lze nadále rozšiřovat a měnit dle potřeby výuky a výzkumu. Zapojení využívá některých prvků, které nelze v normálních topných systémech aplikovat (chlazení zpětné vody, maření tepelného výkonu TČ, odvod chladu do akumulátoru apd.) Toto zapojení však umožňuje přebytky využít k vytápění a ohřevu TV. Dále tento systém umožňuje nastavování teplot zpětné vody k tepelným zdrojům podle požadavku i teploty primárního okruhu TČ bez ohledu na vnější podmínky.

Rovněž solární systém je zapojen netradičně, zde je však rozhodující zajištění funkce a ukázka tohoto systému. Solární kolektory předávají tepelnou energii nemrznoucí směsi chladícího okruhu a při odstavení chladiče je veškerá energie předávána do spodní části akumulátoru.
Celý systém předpokládá dokonalou regulaci nadřazenou centrálou, popřípadě přímo pomocí PC. Toto lze řešit buď vhodnou spolupráci s katedrou odpovídajícího zaměření, popřípadě lze pro systém použít běžně používané regulační podcentrály (Johnoson Controls, AMIT, Siemens apd.) s komunikačním propojením na PC.
Při vizualizaci lze zobrazit pouze část zařízení, které je v dané době v provozu s vyznačením všech měřených a požadovaných hodnot. Tuto vizualizaci lze zobrazit na větším monitoru, popřípadě projektorem. Z PC bude také možno měnit požadované parametry, z naměřených údajů je možno automaticky provádět výpočty účinností u kotlů, COP u tepelného čerpadla a sledovat přímo v čase změnu těchto parametrů při změnách teplot topného média a u TČ i teplot v primárním okruhu. Požadavky na regulaci celého systému jsou popsány v části elektroinstalace.



### Hot water heating

The hot water heating is provided in a combined accumulation tank with the volume of 200 l with a hot water insertion rated for the heat gradient of 55/48°C. The heating water for the heating is removed from the heat accumulator which allows heating with thermal energy from all available thermal sources. The hot water distribution with a circulation loop is installed for illustration. As another option, the hot water is heated by a flow in the inserted pipe in the upper third of the accumulator. The thermal energy from all sources can be used but without an option of temperature control (the temperature in the accumulator may reach up to 80°C). For this reason, the outlet pipe is fitted with an automatic mixer with its own thermal drive set at 50°C. Both sources will be connected in parallel. The maintenance staff will decide on the method of heating.

### HYDRAULIC CONFIGURATION OF THE HEATING SYSTEM

The hydraulic system enables to connect the simplified heating sets with various regulatory fittings and to observe their behaviour. A practical example of how to balance heating sets and how to identify characteristics of the controlling and safety fittings on the measuring stool is available. It is possible to demonstrate the connection of the boiler circuit, the cascade of two boilers, the connection in the splitter/combiner, THR or a bypass in the engine room.

### REMARK

The proposed system of thermal sources and the systems for cooling and heating are essential and they are based on such requirements of teaching and training that a practical demonstration of individual heating systems and functioning of thermal sources is necessary. The system can be further expanded and altered depending on teaching and research purposes. The connection uses some aspects that can not be applied in normal heating systems (return water cooling, thwarting the output of the heat pump, extraction of the heat into the accumulator, etc.) However, this connection allows to use the surplus for heating and hot water heating. Further, this system allows to set the return water temperature for the thermal sources according to the requirements and the temperatures of the primary circuit of the heat pump regardless of external conditions.

Also, the solar system is connected in an unconventional way, but, this is done with respect to the essential requirement to secure the functioning and to demonstrate the system. The solar collectors transmit the thermal energy to the cooling circuit antifreeze. All of the energy is transmitted into the lower part of the accumulator when the cooler shuts down.
The whole system assumes a perfect control by the superior panel, or directly through a PC. This can be done either through a suitable cooperation with a university department with an appropriate focus, alternatively, commonly used regulatory sub-panels (Johnson Controls, AMIT, Siemens, etc.) with a communication link to a PC can be used for the system.

Only that part of the device which is currently in operation and is showing all measured and desired values can be displayed in visualization. This visualization can be viewed on a larger display or projector. It will be possible to change the required parameters from a PC. Calculations can be performed automatically for efficiency of the boilers and for the COP of the heat pump. It will be possible to observe changes in the parameters during changes of temperatures of the heating medium, and for the heat pump also to observe temperature changes in the primary circuit - all this in real time. The requirements for the control of the whole system are described in the part Electrical fittings.

### 2.2.5. ELECTRICAL FITTINGS

- GENERAL INFORMATION
- KNX - INTELLIGENT OPERATION OF A BUILDING
- MEASUREMENTS AND CONTROLLING
- EZS
- EMERGENCY LIGTING

### 2.2.5. ELEKTROINSTALACE

- VŠEOBECNĚ O ELEKTROINSTALACI
- KNX – INTELIGENTNÍ ŘÍZENÍ BUDOVY
- MĚŘENÍ A REGULACE
- EZS
- NOUZOVÉ OSVĚTLENÍ

## 3. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Jak již bylo zmíněno v předcházejících kapitolách, jedním z hlavních účelů pasivní dřevostavby je dlouhodobé monitorování a vyhodnocování fyzikálně-technických vlastností stavebních konstrukcí a vnitřního prostředí celé budovy za reálných vnějších podmínek. Od srpna 2012, kdy byl celý měřící systém zprovozněn, jsou kontinuálně zaznamenávány následující veličiny:

- povrchové teploty obvodových konstrukcí,
- teploty a relativní vlhkosti uvnitř obvodových konstrukcí,
- teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním a venkovním prostředí budovy,
- teploty v zemině pod základovou deskou,
- změny totálního napětí v zemině v úrovni základové spáry a pod základovou deskou,
- mechanické napětí v ŽB desce získané nepřímým měřením pomocí deformace odporových tenzometrů.

Mezi další fyzikální veličiny, které jsou měřeny pouze v určitých časových obdobích nebo jednorázově, patří: hustota tepelného toku na vnitřním povrchu obvodových konstrukcí, globeteplota vnitřního vzduchu (měřena kulovým teploměrem), akustické vlastnosti stavebních konstrukcí, vzduchotěsnost obálky budovy, termovizní měření.
Pro účely výzkumu jsou využívána i data z měřících čidel, které jsou součástí systému měření a regulace – např. koncentrace $CO_2$ v jednotlivých místnostech, osvětlenost v jednotlivých místnostech, data z meteostanice umístěné na střeše objektu, teploty vzduchu v zemním výměníku apod.

### 3.1 Popis měřících čidel

Základní měřící zařízení pro kontinuální monitorování jednotlivých teplotních a vlhkostních vlastností stavebních konstrukcí a vnitřního prostředí dodala firma TR instruments spol. s r.o.
Pro měření vnějších a vnitřních povrchových teplot konstrukcí jsou použity teplotní snímače TG 68-60 Pt1000 a TG7 Pt1000, pro měření teploty a relativní vlhkosti uvnitř konstrukcí stěn, střechy a stropu jsou použity snímače HC2-C04 RH/T Rotronic (Obr.3.1), pro měření teplot a relativní vlhkosti vzduchu ve vnitřním prostředí jsou použity teplotní snímače Pt1000 a HC2-S RH/T Rotronic (Obr.3.2), pro měření teplot v zemině jsou použity odporové platinové teplotní snímače TR 087B-60 Pt1000.

Obr.3.1 Teplotní a vlhkostní snímač HC2-C04
Fig.3.1 Temperature and humidity sensor HC2-S4

Pro dlouhodobé zaznamenávání naměřených hodnot je použita vícekanálová měřící ústředna dataTaker DT80G se 4 moduly CEM 20, která zaznamenává všechny hodnoty měřených veličin v konstrukcích a ve vnitřním prostředí v nastaveném časovém intervalu 15 minut. Hodnoty teplot v zemině jsou zaznamenávány v časovém intervalu 1 hodiny.



## 3. EXPERIMENTAL MEASUREMENTS

As it has been mentioned in previous chapters, one of the main purposes of a passive timber construction is a long-term monitoring and evaluation of physical-technical properties of building structures and the internal environment of the entire building under real external conditions. The following variables have been continuously recorded since August 2012, when the whole system of measurements was launched :

- surface temperature of the peripheral structures,
- temperature and relative humidity inside the peripheral structures,
- air temperature and relative humidity inside and outside the building,
- temperatures in the soil under the foundation slab,
- changes in total tension in the soil at the level of the foundation base and under the foundation slab,
- mechanical tension in the reinforced concrete slab obtained by indirect measurements using deformation of resistance strain gauges.

Heat flux density on the internal surface of the peripheral structures, globetemperature of the interior air (measured by ball thermometer), acoustic properties of the building construction, air tightness of the building shell, and thermovision measurements belong to other physical quantities that are measured only in certain periods or as one-off.
Data from the measuring sensors that are part of the measurement and control system - for example, the concentration of $CO_2$ in individual rooms, lighting in individual rooms, data from the weather station located on the roof of the building, the air temperature in the ground heat exchanger, etc. are also used for research purposes.

Obr.3.2 Teplotní a vlhkostní snímač HC2-S4
Fig.3.2 Temperature and humidity sensor HC2-S4

### 3.1 Description of measuring sensors

The basic measuring devices for continuous monitoring of the individual temperature and humidity in the construction structures and in the internal environment were supplied by company TR instruments spol. s.r.o. Temperature sensors TG 68-60 Pt1000 and Pt1000 TG7 are used for external and internal temperatures measurements of structure surfaces. Sensor HC2-C04 RH / T Rotronic (Fig.3.1) is used for temperature and relative humidity measurements in the construction of walls, roofs and ceilings. Temperature sensors Pt1000 and HC2-S RH / T Rotronic (Fig. 3.2) are used for measuring the temperature and relative humidity in the in internal environments. Platinum resistance temperature sensors TR 087B-60 Pt1000 are used for soil temperature measurements.

Multi-channel measuring panel dataTaker DT80G with 4 CEM 20 modules , which records all measured figures in structures and in the internal environment in the default interval of 15 minutes, is used for long-term recording of measured figures. Figures of the temperatures in the soil are recorded in 1 hour intervals.

Měření geotechnických vlastností zeminy pod základovou deskou je zajištěno pomocí zemních tlakových buněk - typ 4800 (Obr.3.3) pro měření totálního napětí v zemních zásypech a typ 4810 pro měření kontaktu mezi zeminou a povrchem betonové základové desky.

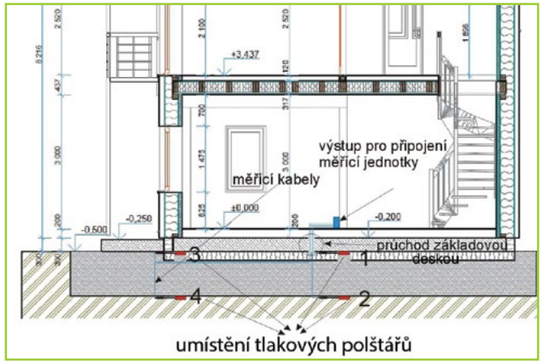
Mechanické napětí v betonové základové desce je zjišťováno nepřímým měřením pomocí deformace odporových tenzometrů typu 4200 (Obr.3.4).

### 3.2 Měření geotechnických vlastností zeminy a mechanických vlastností základové desky

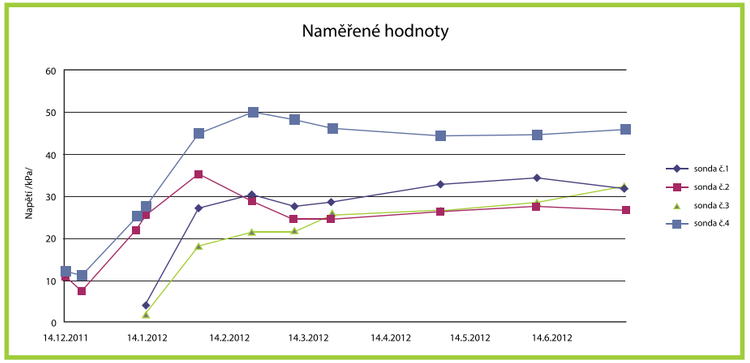
Měřicí senzory byly umístěny ve dvou místech půdorysu domu (ve středu a na okraji základové desky) a ve dvou hloubkových úrovních pod horním povrchem podlahy. V hloubce -1,45 m pod horním povrchem podlahy (±0,000 m) byly umístěny dvě zemní tlakové buňky typu 4800 pro měření totálního napětí v zemním zásypu (sonda č. 2 a 4). V hloubce -0,5 m pod povrchem podlahy byly přímo pod základovou deskou umístěny dvě zemní tlakové buňky typu 4810 (sonda č. 1 a 3) pro měření kontaktu mezi tepelnou izolací a betonovou základovou deskou (Obr. 3.5). Přímo na výztuž v základové desce byly umístěny dva kusy odporových tenzometrů (sonda č. 5 a 6).

Počáteční měření byla provedena ještě před vlastní výstavbou objektu. Na Obr. 3.6 a Obr. 3.7 je znázorněn nárůst tlaku v zemině v průběhu výstavby. Po dokončení výstavby je již zřejmá stabilizace napětí ve všech výškových úrovních. Senzory tenzometrů zaznamenaly první nárůst relativních deformací během tvrdnutí betonu základové desky a během výstavby nosných zdí objektu. Další nárůst deformací nebyl pozorován.

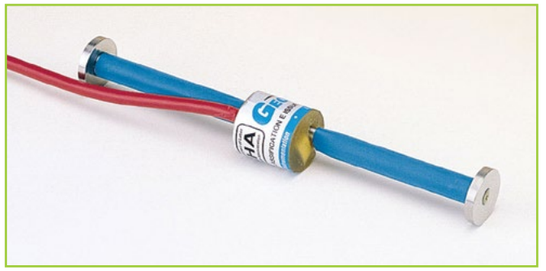
Obr.3.3 Zemní tlaková buňka - typ 4800
Fig.3.3 Earth pressure cells - type 4800




Obr.3.5 Umístění zemních tlakových buněk a odporových tenzometrů
Fig.3.5 Location of the earth pressure cells and resistance strain gauges




Obr. 3.6 Měření totálního napětí v zemině
Fig. 3.6 Measurement of total tension in the soil



Obr.3.4 Odporový tenzometr - typ 4200
Fig.3.4 Resistance strain gauge - Type 4200

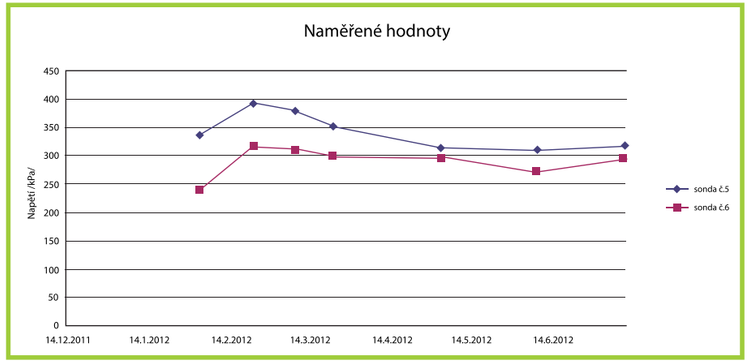
The measurement of geotechnical properties of the soil under the foundation slab is provided by means of ground pressure cells. Type 4800 (Fig. 3.3) measures the total voltage in earth backfills and type 4810 is used for the measurement of the contact between the soil and the surface of the concrete foundation slab.

Mechanical tension in the concrete foundation slab is provided by using an indirect measurement of deformation of resistance strain gauges type 4200 (Fig. 3.4).

### 3.2 Measurements of geotechnical properties of the soil and the mechanical properties of the foundation slab

The measuring sensors were placed in two locations in the floor plan of the house (in the centre and on the edge of the foundation slab) and in two depth levels below the top surface of the floor. Two earth pressure cells type 4800 measuring the total tension of the soil backfill (probes no. 2 and 4) were placed in the depth of -1,45 m under the top floor level (±0,000 m). Two earth pressure cells type 4810 (probes 1 and 3) measuring the contact between the insulation and the concrete foundation slab (Fig. 3.5) were placed in the depth of -0.5 m below the surface of the floor directly under the foundation slab. Two pieces of resistance strain gauges (probes 5 and 6) were placed directly onto the reinforcement of the foundation slab.

Initial measurements were performed before the commencement of the construction of the building. The increase of the pressure in the soil during the construction period is shown in Fig. 3.6 and Fig. 3.7. Stabilisation of the tension in all height levels is already apparent after the completion of the construction. The strain gauges sensors recorded the first increase of relative deformation during hardening of the concrete of the foundation slab and during the construction of load-bearing walls of the building. Further increase of deformation was not observed.



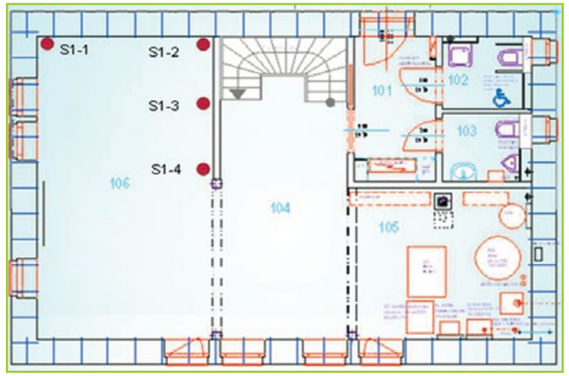

Obr. 3.7 Měření relativních deformací základové desky
Fig. 3.7 Measurement of relative deformations in the foundation slab

### 3.3 Měření teplot v zemině

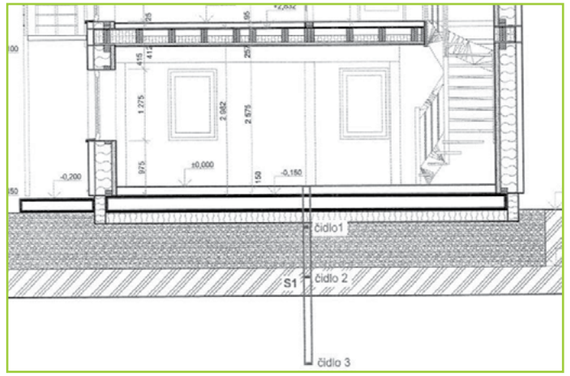
Cílem měření teplot v zemině pod základovou deskou je ověření teplotních vlastností zeminy, které ovlivňují tepelné ztráty prostupem přes podlahovou konstrukci.
Teplotní čidla pro monitorování průběhů teplot v zemině jsou rozmístěna ve 4 pozicích (S1-1 až S1-4) pod základovou deskou objektu (viz obr. 3.8). Na každé pozici jsou v zemině zabudována tři teplotní čidla ve třech hloubkových úrovních pod horním povrchem podlahy (±0,000 m):

1) - 0,7 m
2) - 1,5 m
3) - 3,0 m

Měřící teplotní čidla musela být zabudována do zeminy již v době provádění zemních prací. Na Obr. 3.10 a Obr. 3.11 je ukázka instalace čidel do zeminy.




Obr. 3.8 Půdorysné rozmístění teplotních sond do zeminy pod základovou deskou
Fig. 3.8 Floor plan location of temperature probes into the soil under the foundation slab




Obr. 3.9 Hloubkové umístění tepotních sond do zeminy pod základovou deskou
Fig. 3.9 In-depth location of temperature probes in the soil under the foundation slab

Na obr. 3.12 je znázorněn průběh průměrných měsíčních teplot v zemině během období prosinec 2012 až listopad 2013. Teploty v zemině vykazují s rostoucí hloubkou stabilnější hodnoty a kolísají pouze v závislosti na pozici umístění sondy pod základovou deskou a na ročním období. Průměrná teplota v hloubce 0,7 m pod povrchem terénu na okraji základové desky se pohybovala během roku v rozmezí 5,5 ˚C až 17,41˚C, zatímco pod středem desky bylo dosaženo teplot v rozmezí 11,2˚C až 15,2 ˚C. Průměrná teplota v hloubce 3,0 m pod povrchem terénu se pohybovala během roku na okraji základové desky v rozmezí 7,7 ˚C až 13,2˚C, zatímco pod středem desky bylo dosaženo teplot v rozmezí 10,0˚C až 13,1˚C.
Zatímco nejnižší průměrná teplota venkovního vzduchu byla dosažena v měsíci lednu (- 2,7 ˚C), v zemině byla díky měrné tepelné kapacitě nejnižší průměrná teplota dosažena až v měsíci březnu (v hloubce 0,7 m, okraj desky) a v dubnu (v hloubce 3,0 m, okraj desky).



### 3.3 Temperature measurements in the soil

The aim of measuring the temperature in the soil under the foundation slab is to verify the thermal properties of the soil that affect heat loss through the floor structure.
Temperature sensors for monitoring of the temperature in the soil are located in 4 positions (S1-1 to S1-4) under the foundation slab of the object (see Fig. 3.8). Three temperature sensors are incorporated in three depth levels below the upper surface of the floor (±0.000 m) at each position in the soil:

1) - 0,7 m
2) - 1,5 m
3) - 3,0 m

The measuring temperature sensors had to be incorporated into the soil when earthwork was executed. Figure 3.10 and Figure 3.11 illustrate the installation of the sensors into the soil.

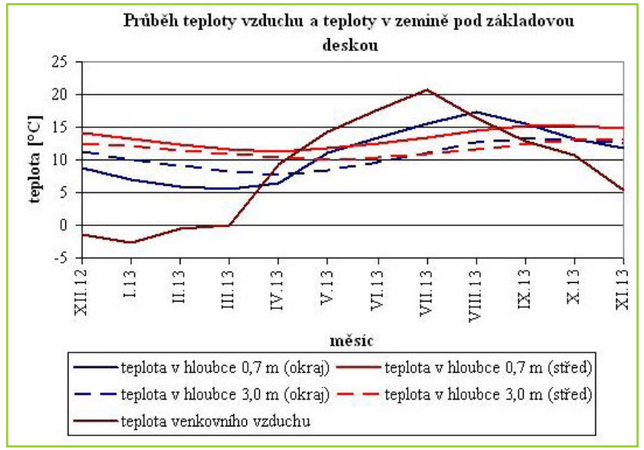
Obr. 3.10 Příprava umístění čidel v hloubce 3,0 m pod povrchem terénu
Fig. 3.10 Preparation for placing the sensors at the depth of 3.0 m below the ground surface

Obr. 3.11 Umístění čidel v hloubce 1,5 m pod povrchem terénu (úroveň základové spáry)
Fig. 3.11 Sensor location at the depth of 1.5 m below the ground (level of the foundation base)

Figure 3.12 shows the course of the average monthly temperature in the soil between December 2012 and November 2013. The temperatures in the soil show more stable values with increasing depth and they fluctuate depending only on the position of the probe under the foundation slab and depending on the season of the year. The average temperature moved between 5.5°C and 17.41°C at the depth of 0.7 m below the ground surface at the edge of the foundation slab, while temperatures between 11.2°C and 15,2°C were achieved under the centre of the slab. The average temperature at the depth of 3.0 m below the ground surface varied between 7.7°C and 13.2°C at the edge of the foundation slab during the year, while under the centre of the foundation slab the temperature range between 10.0°C and 13.1°C.
While the lowest average outdoor air temperature was reached in January (- 2.7°C), the lowest average temperature in the soil was reached as late as in the months of March (at the a depth of 0.7 m, the edge of the slab) and April (at the depth of 3.0 m, the edge of the slab) - and this was due to the specific heat capacity.

Obr. 3.12 Průběh průměrné teploty vzduchu a teploty v zemině ve dvou hloubkových úrovních na okraji základové desky (S1 - 1) a pod středem základové desky (S1-4)

Fig. 3.12 Course of the average air temperature and the temperature of the soil in two depth levels at the edge of the foundation slab (S1 - 1) and under the centre of the foundation slab (S1-4)




Nejvyšší průměrná teplota venkovního vzduchu byla dosažena v měsíci červenci (20,8˚C), v zemině byla nejvyšší průměrná teplota dosažena v měsíci srpnu (v hloubce 0,7 m, okraj desky) a v září (v hloubce 3,0 m, okraj desky).

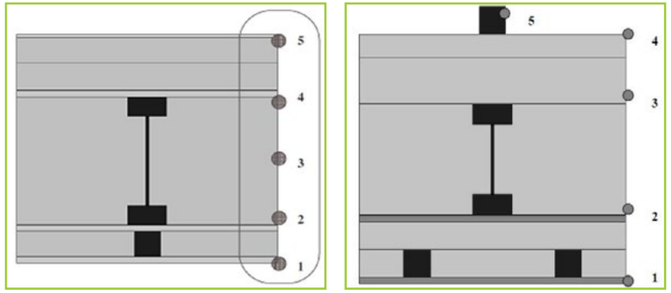
### 3.4 Měření teplotně-vlhkostních vlastností stavebních konstrukcí

Cílem měření průběhů teplot a relativních vlhkostí na povrchu a uvnitř obvodových konstrukcí dřevostavby je ověření teplotně-vlhkostního chování konstrukcí za reálných podmínek. Zejména je věnována pozornost možnému riziku vzniku kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce v zimním období a také vlivu slunečního záření na přehřívání konstrukcí v letním období.
Teplotní čidla pro měření povrchových teplot konstrukcí a teplot a relativních vlhkostí uvnitř konstrukcí jsou umístěna celkem v 8 pozicích v obvodové stěně a ve 2 pozicích ve střešní konstrukci (viz obr. 3.13).

V každé pozici je umístěno vždy 5 čidel, které monitorují průběhy teplot a relativních vlhkostí v příčném profilu konstrukce (Obr. 3.14).

Jednotlivé pozice čidel mají umožnit sledování teplotně-vlhkostního chování konstrukce s ohledem na různé faktory:
- vliv skladby konstrukce,
- vliv orientace konstrukce na světové strany,
- vliv tepelného mostu,
- vliv tepelné vazby (kout),
- vliv odvětrávané mezery na vnější straně konstrukce,
- vliv parametrů vnitřního a venkovního prostředí.

Další teplotně-vlhkostní čidla jsou umístěna do půdního prostoru a do vnitřních prostorů místností pro možnost sledování parametrů vnitřního prostředí.
Umístění teplotních a vlhkostních čidel dovnitř stavebních konstrukcí muselo být realizováno současně s výrobou jednotlivých obvodových dílců. Na obr. 3.15 je ukázka montáže teplotně-vlhkostních čidel do obvodové stěnové konstrukce v montážní hale v Rýmařově.




Obr. 3.14 Pozice teplotních a vlhkostních čidel uvnitř konstrukce obvodové stěny a střešní konstrukce

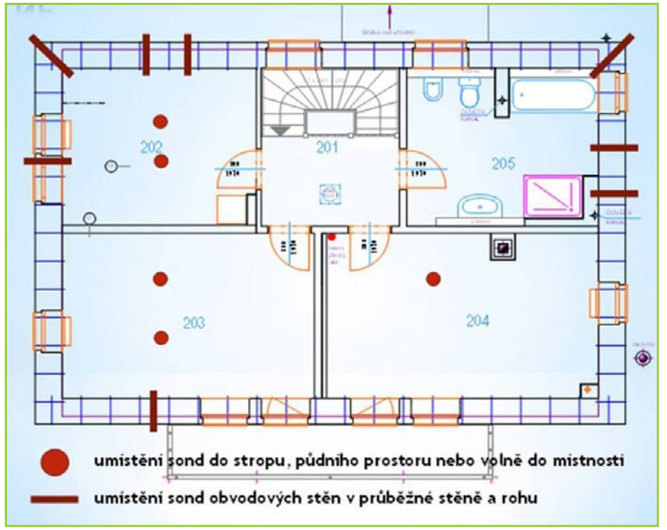
Fig. 3.14 Location of the temperature and humidity sensors inside the peripheral wall structure and the roof structure



The highest average outdoor air temperature was reached in July (20.8˚C). In the soil, the highest average temperature was reached in the months of August (at the depth of 0.7 m, the edge of the slab) and September (at the depth of 3.0 m, edge of the slab).

### 3.4 Measurements of temperature and moisture properties of the building structures

The objective of temperature and relative humidity measurements on the surface and inside the peripheral structures of the timber building is to verify the temperature-humidity behaviour of structures under realistic conditions. In particular, attention is paid to a potential risk of condensation of water vapour inside the structure during the winter season and also to the impact of solar radiation on overheating of structures in the summer.
Temperature sensors for measuring the surface temperatures of the structures and the temperatures and relative humidity inside the structures are placed in 8 positions in the peripheral wall and in two positions in the roof structure (see Figure 3.13).




Obr. 3.13 Umístění teplotních a vlhkostních čidel v obvodových konstrukcích

Fig. 3.13 Location of temperature and humidity sensors in the walls

5 sensors are always located in each position and they monitor the course of temperature and relative humidity in the cross section of the structure (Fig. 3.14).

Particular positions of sensors are to enable monitoring of the temperature-humidity behaviour of the structure with respect to different factors:
- the impact of the structure composition,
- the impact of the compass orientation of construction towards the cardinal directions,
- the impact of the thermal bridge,
- the impact effect of the thermal coupling (corner),
- the impact effect of the ventilated space on the outerexternal side of the structure,
- the impact effects of internal and external environments parameters.

Other temperature-humidity sensors are placed in the attic and in the interior of the rooms for the possibility of monitoring so that the parameters of the internal environment could be monitored.

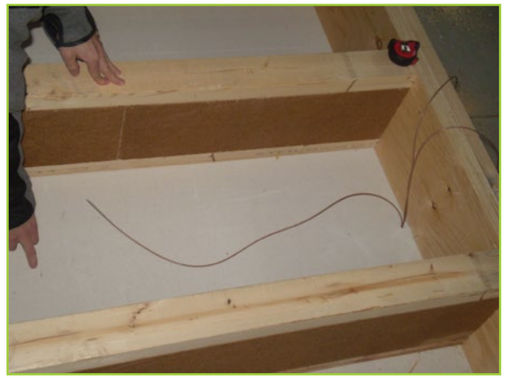
The temperature and humidity sensors had to be placed inside the building structures while the structures of individual peripheral parts were manufactured. Figure 3.15 illustrates fitting the temperature-humidity sensor into the peripheral wall construction in the assembly hall in Rýmařov.

### 3.4.1 Obvodová stěna dřevostavby

Obvodová stěna dřevostavby je řešena jako difúzně otevřená konstrukce (skladba konstrukcí viz Kap. 2.2) ve dvou konstrukčních variantách:

- obvodová stěna s kontaktním zateplením,
- obvodová stěna s odvětrávanou vzduchovou mezerou.

V Tab. 3.1 jsou uvedeny základní tepelně technické vlastnosti použitých stavebních materiálů, které mají rozhodující vliv na průběhy teplot a vlhkosti uvnitř konstrukcí.



Obr. 3.15 Montáž teplotně-vlhkostních čidel do dílce obvodové stěny

| Stavební materiály | Objemová hmotnost ρ [kg/m³] | Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m.K)] | Měrná tepelná kapacita c [J/(kg.K] | Součinitel teplotní vodivosti a [m²/s] | Faktor difúzního odporu μ [-] |
|---|---|---|---|---|---|
| sádrovláknitá deska Fermacell | 1250 | 0,320 | 1000 | $2{,}56 \cdot 10^{-7}$ | 13 |
| Sádrovláknitá deska Fermacell Vapor | 1250 | 0,32 | 1000 | $2{,}56 \cdot 10^{-7}$ | 200 |
| dřevovláknitá tepelná izolace Steico Flex | 50 | 0,039 | 2100 | $3{,}7 \cdot 10^{-7}$ | 2 |
| dřevovláknitá tepelná izolace Steico Therm | 160 | 0,043 | 2100 | $1{,}28 \cdot 10^{-7}$ | 5 |
| dřevovláknitá tepelná izolace Steico Protect | 250 | 0,053 | 2100 | $1{,}00 \cdot 10^{-7}$ | 5 |
| dřevovláknitá tepelná izolace Steico Special | 240 | 0,047 | 2100 | $0{,}93 \cdot 10^{-7}$ | 5 |
| Dřevěný nosník | 400 | 0,180 | 2510 | $1{,}8 \cdot 10^{-7}$ | 157 |
| omítka Baumit | 1800 | 0,800 | 850 | $5{,}23 \cdot 10^{-7}$ | 12 |

Tab. 3.1 Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů

Rychlost vyrovnávání teplot v materiálu (např. v letním období při přehřívání konstrukce) je závislá na součiniteli teplotní vodivosti a, který se odvodí z materiálových charakteristik:

kde:
λ je součinitel tepelné vodivosti [W/(m² K)],
ρ objemová hmotnost [kg/m³],
c měrná tepelná kapacita [J/(kg K)].

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$



### 3.4.1 Peripheral wall of the timber building

The peripheral wall of the timber building is designed as a diffusion structure (for composition of the structures see Chap. 2.2) in two design options:

- external wall with contact insulation,
- external wall with a ventilated air gap.

Tab. 3.1. shows basic thermal properties of used building materials which have a decisive influence on the course of the temperature and humidity inside the structure.

Fig. 3.15 Installation of temperature-humidity sensors into a part of a peripheral wall

| Building materials | Bulk density ρ [kg/m³] | Coefficient of thermal conductivity λ [W/(m.K)] | Specific heat capacity c [J/(kg.K] | Coefficient of thermal conductivity a [m²/s] | Water vapour resistance factor μ [-] |
|---|---|---|---|---|---|
| Fermacell gypsum fibre-board | 1250 | 0,320 | 1000 | $2{,}56 \cdot 10^{-7}$ | 13 |
| Fermacell Vapor gypsum fibre-board | 1250 | 0,32 | 1000 | $2{,}56 \cdot 10^{-7}$ | 200 |
| Steico Flex wood-fibre thermal insulation | 50 | 0,039 | 2100 | $3{,}7 \cdot 10^{-7}$ | 2 |
| Steico Therm wood-fibre thermal insulation | 160 | 0,043 | 2100 | $1{,}28 \cdot 10^{-7}$ | 5 |
| Steico Protect wood-fibre thermal insulation | 250 | 0,053 | 2100 | $1{,}00 \cdot 10^{-7}$ | 5 |
| Steico Special wood-fibre thermal insulation | 240 | 0,047 | 2100 | $0{,}93 \cdot 10^{-7}$ | 5 |
| timber beam | 400 | 0,180 | 2510 | $1{,}8 \cdot 10^{-7}$ | 157 |
| Baumit plaster | 1800 | 0,800 | 850 | $5{,}23 \cdot 10^{-7}$ | 12 |

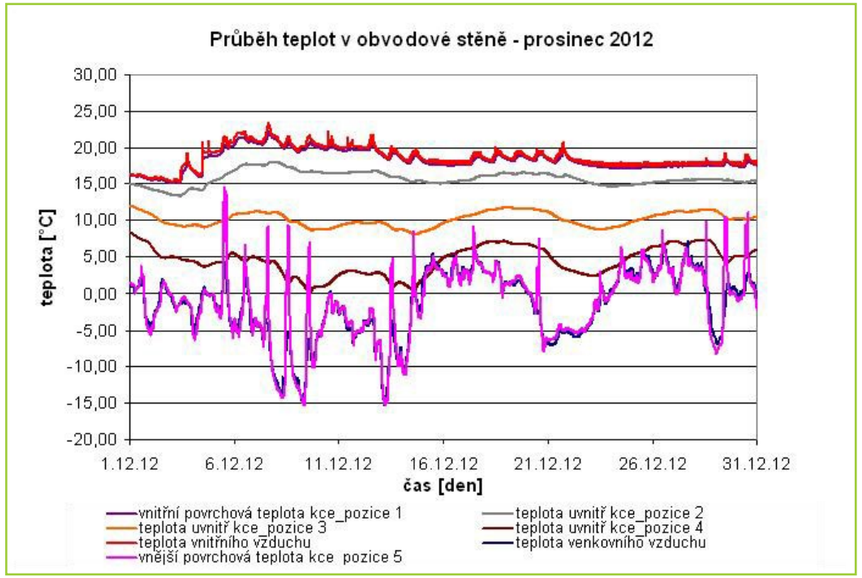
Tab. 3.1 Thermal properties of building materials

The speed equalization of the temperature in the material (e.g. in the summer during overheating of the structure) depends on the coefficient of thermal conductivity a, which is derived from the material characteristics:

where:
λ is the thermal conductivity coefficient [W/(m² K)],
ρ the bulk density [kg/m³],
c the specific heat capacity [J/(kg K)].

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

Čím je hodnota součinitele teplotní vodivosti materiálu vyšší, tím rychleji se mění teplota uvnitř materiálu vzhledem ke změně teploty na jeho povrchu.
Na Obr. 3.16 a Obr. 3.17 jsou uvedeny naměřené průběhy teplot a relativních vlhkostí v obvodové stěně dřevostavby orientované na jižní stranu v zimním období v měsíci prosinci 2012. Hodnoty teplot a relativních vlhkostí uvnitř konstrukce označené pozicí 1 až 5 znázorňují umístění měřících čidel směrem od vnitřní strany konstrukce ven.



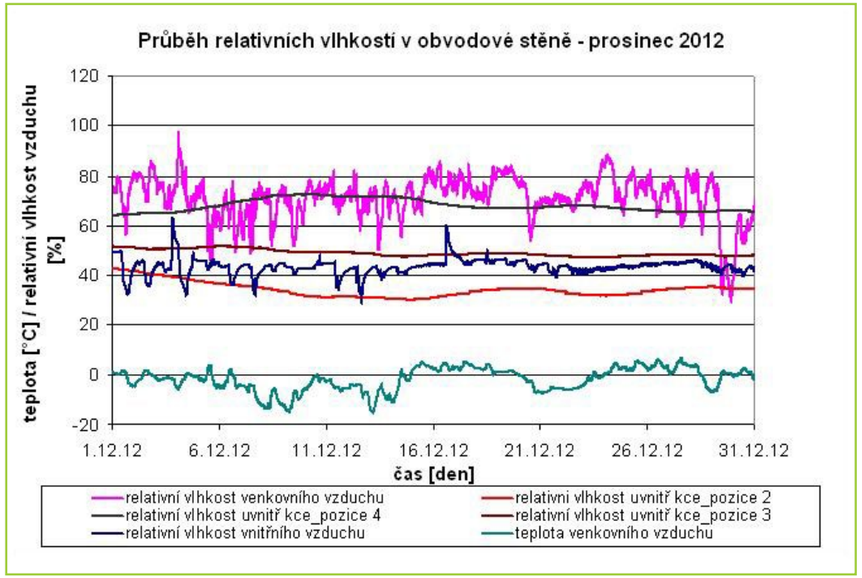

Obr. 3.16 Průběh naměřených teplot v konstrukci obvodové stěny s kontaktním zateplením - orientace jih
Fig. 3.16 Course of measured temperatures in the construction of external walls with contact insulation - south facing

Naměřené průběhy teplot ukazují, jakým způsobem se konstrukce díky svým tepelně izolačním vlastnostem vyrovnává s rozdílem vnitřních a venkovních teplot v zimním období. Zatímco vnější povrch konstrukce je zatěžován velkým rozdílem povrchových teplot v průběhu měsíce ledna (od -15,3˚C až 9,1˚C), vnitřní vrstvy konstrukce včetně povrchu vykazují velice malé výchylky v teplotách (15,2˚C až 21,2˚C). Přičemž průběh vnitřní povrchové teploty konstrukce je ovlivněn vnitřní teplotou vzduchu a provozním režimem vytápění. Průběh relativních vlhkostí uvnitř konstrukce prokazuje, že v průběhu měsíce prosince nedochází ke vzniku kondenzace uvnitř této difúzně otevřené konstrukce.

Na Obr. 3.18 jsou uvedeny naměřené průběhy teplot v obvodové stěně dřevostavby orientované na jižní stranu v letním období v měsíci srpnu 2013.

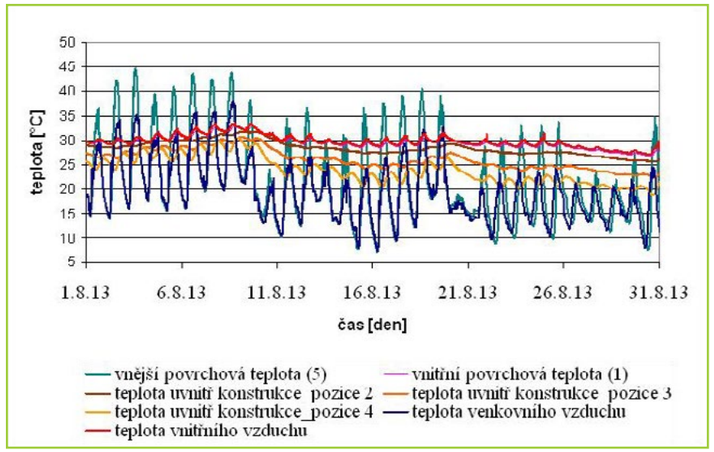


The higher the coefficient of thermal conductivity of the material is, the faster the temperature inside the material alters due to changes of temperatures on its surface.
Fig. 3.16 and Fig. 3.17 show the measured courses of temperature and relative humidity in the peripheral wall of the south facing timber building in the winter, in December 2012.The temperature and relative humidity inside the structure marked with positions 1-5 show the location of the measuring sensors leading from the internal side of the structure out.




Obr. 3.17 Průběh naměřených relativních vlhkostí v obvodové stěně-orientace jih
Fig. 3.17 Course of the relative humidity measured in the peripheral wall - south facing

The curves of measured temperatures show how the structure, thanks to its thermal insulation properties, copes with differences between indoor and outdoor temperatures in winter. While the external surface of the structure is strained with large differences of between surface temperatures during January (from -15.3°C to 9.1°C), the internal layers of the structure including the surface show only very small variations of temperatures (15.2°C to 21.2°C). However, the course of the internal structure surface temperature is affected by the indoor air temperature and by the operating mode of the heating. The course of the relative humidity inside the structure proves that there is no condensation inside this diffusion-open structure during December.




Obr. 3.18 Průběh naměřených teplot v konstrukci obvodové stěny-orientace jih
Fig. 3.18 shows the measured temperature curves in the peripheral wall of the south facing timber building in the summer period - in August 2013.

Naměřené průběhy teplot ukazují, jakým způsobem se konstrukce díky svým tepelně izolačním vlastnostem vyrovnává s tepelnou zátěží v letním období. Zatímco vnější povrch konstrukce je zatěžován velkým rozdílem povrchových teplot v průběhu měsíce srpna (od 44,7 °C do 7,1°C), vnitřní vrstvy konstrukce včetně povrchu vykazují velice malé výchylky v teplotách (32,9°C až 26,8°C). Naměřené vyšší vnitřní teploty vzduchu byly ovlivněny provozním režimem, kdy v rámci zajištění stejných okrajových podmínek pro měření nebyl vnitřní prostor ochlazován větráním venkovního vzduchu v nočních hodinách ani nucenou výměnou vzduchu.
Na Obr. 3.18 a 3.19 je znázorněno časové zpoždění mezi dosažením maximální teploty na vnějším a vnitřním povrchu konstrukce ve vybrané dva dny v srpnu (8.8.-9.8.), které dosáhlo 26 hodin.

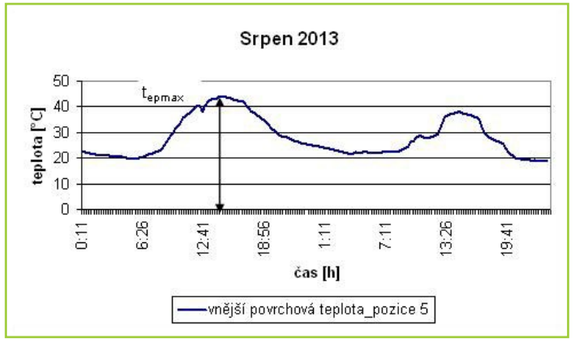
### 3.4.2 Střešní konstrukce dřevostavby

Střešní konstrukce dřevostavby je řešena jako difúzně otevřená konstrukce (skladba konstrukce viz Kap. 2.2).
V Tab. 3.2 jsou uvedeny základní tepelně technické vlastnosti použitých základních stavebních materiálů, které mají rozhodující vliv na průběhy teplot a vlhkosti uvnitř střešní konstrukce.

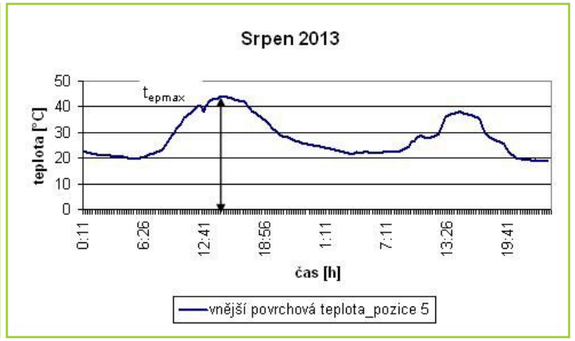
| Stavební materiály | Objemová hmotnost ρ [kg/m³] | Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m.K)] | Měrná tepelná kapacita c [J/(kg.K] | Součinitel teplotní vodivosti a [m²/s] | Faktor difúzního odporu μ [-] |
|---|---|---|---|---|---|
| Sádrokartonová deska GKF | 800 | 0,220 | 1060 | $2,59 . 10^{-7}$ | 2,5 |
| Sádrovláknitá deska Fermacell Vapor | 1250 | 0,32 | 1000 | $2,56 . 10^{-7}$ | 200 |
| dřevovláknitá tepelná izolace Steico Flex | 50 | 0,039 | 2100 | $3,7 . 10^{-7}$ | 2 |
| dřevovláknitá tepelná izolace Steico Therm | 160 | 0,043 | 2100 | $1,28 . 10^{-7}$ | 5 |
| dřevovláknitá tepelná izolace Steico Universal | 270 | 0,048 | 2100 | $0,85 . 10^{-7}$ | 5 |
| Dřevěný nosník | 400 | 0,180 | 2510 | $1,8 . 10^{-7}$ | 157 |

Tab. 3.2 Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů






Obr. 3.19 Průběh naměřených teplot v konstrukci obvodové stěny-orientace jih
Fig. 3.19 Course of temperature measurements in the construction of the peripheral wall-south facing




Obr. 3.20 Průběh naměřených teplot v konstrukci obvodové stěny-orientace jih
Fig. 3.20 Course of temperature measurements in the construction of the peripheral wall-south facing

The measured temperature curves show how, thanks to its thermal insulation properties, the construction copes with the heat strain in the summer. While the external structure is strained with a large difference of surface temperatures during the month of August (from 44.7°C to 7.1°C), the internal structure layers including their surfaces show only very small variations of temperatures (32.9°C to 26.8°C). The measured higher internal air temperatures were affected by the operating mode when the internal space was not cooled by external air ventilation at night or by a forced air exchange in order to ensure the same marginal conditions for the measurement.
Fig. 3.19 and 3.20 show the time delay between reaching the maximum temperature on the external and internal surfaces of the structure in the two selected days in August (8.8. - 9.8.), which reached 26 hours.

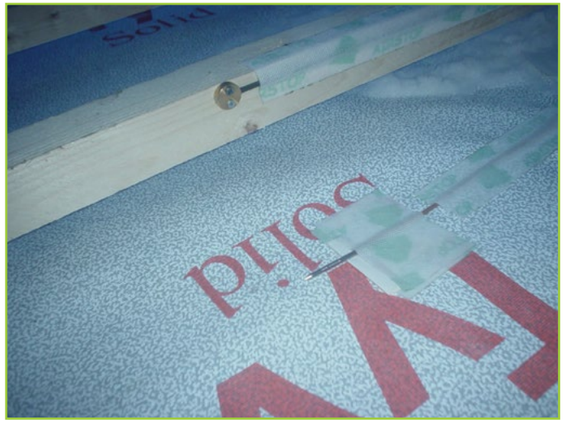
### 3.4.2 Roof construction of the timber building

The roof construction of the timber building is designed as a diffusion-open structure (for the structure composition see Chap. 2.2). Tab. 3.2 contains the basic thermal technical properties of the basic used building materials, which have a decisive influence on the course of the temperature and the humidity within the roof structure.

| Building Materials | Bulk density ρ [kg/m³] | Coefficient of thermal conductivity λ [W/(m.K)] | Specific heat capacity c [J/(kg.K] | Coefficient of thermal conductivity a [m²/s] | Water vapour resistance factor μ [-] |
|---|---|---|---|---|---|
| GKF gypsum-fibre board | 800 | 0,220 | 1060 | $2,59 . 10^{-7}$ | 2,5 |
| Fermacell Vapor gypsum - fibre board | 1250 | 0,32 | 1000 | $2,56 . 10^{-7}$ | 200 |
| Steico Flex wood-fibre thermal insulation | 50 | 0,039 | 2100 | $3,7 . 10^{-7}$ | 2 |
| Steico Therm wood-fibre thermal insulation | 160 | 0,043 | 2100 | $1,28 . 10^{-7}$ | 5 |
| Steico Universal wood-fibre thermal insulation | 270 | 0,048 | 2100 | $0,85 . 10^{-7}$ | 5 |
| timber beam | 400 | 0,180 | 2510 | $1,8 . 10^{-7}$ | 157 |

Tab. 3.2 Thermal properties of the building materials

Obr. 3.21 Montáž teplotně-vlhkostních čidel do střešní konstrukce
Fig. 3.20 Installation of the temperature-humidity sensors into the roof structure



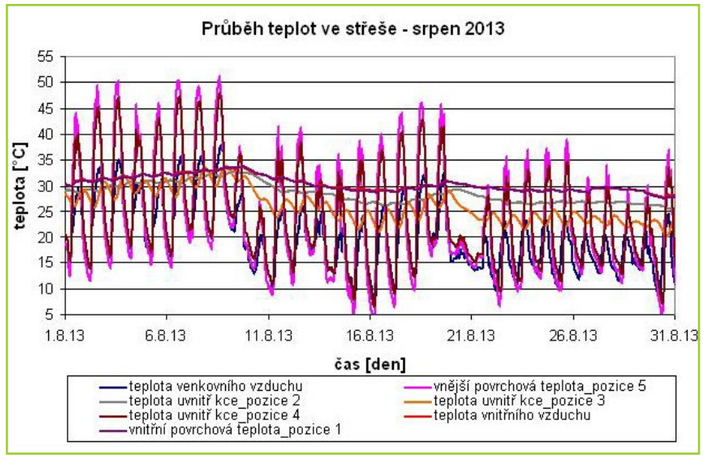
Na obr. 3.21 je ukázka montáže teplotně vlhkostních čidel (pozice č. 4 a 5) do střešní konstrukce prováděné během realizace stavby.

Na Obr. 3.22 a Obr. 3.23 jsou uvedeny naměřené průběhy teplot a relativních vlhkosti ve střešní konstrukci dřevostavby v zimním období v měsíci prosinci. Hodnoty teplot a relativních vlhkostí uvnitř konstrukce označené pozicí 1 až 5 znázorňují umístění měřících čidel směrem od vnitřní strany konstrukce ven.

Naměřené průběhy teplot ukazují podobně jako u obvodové konstrukce, jakým způsobem se střešní plášť díky svým tepelně izolačním vlastnostem vyrovnává s průběhem teplot v zimním období. Zatímco vnější povrch konstrukce je zatěžován velkým rozdílem povrchové teploty v průběhu měsíce prosince (od -16,1 ˚C až 8,4 ˚C), vnitřní vrstvy konstrukce včetně povrchu vykazují průměrnou povrchovou teplotu konstrukce 20,5 ˚C. Přičemž průběh vnitřní povrchové teploty je ovlivněn vnitřní teplotou vzduchu a provozním režimem vytápění.

Průběh relativních vlhkostí uvnitř střešní konstrukce prokazuje, že v průběhu měsíce prosince nedochází ke vzniku kondenzace uvnitř této difúzně otevřené konstrukce. Maximální hodnota relativní vlhkosti vzduchu, která byla v měsíci prosinci v konstrukci dosažena je 98,2% (změřeno v pozici č. 4 – na vnější straně konstrukce v místě odvětrávané mezery).

V lením období v měsíci srpnu (Obr. 3.24) byla naměřena maximální vnější povrchová teplota konstrukce v odvětrávané vzduchové mezeře 51,1˚C a minimální teplota 3,9˚C . Zatímco na vnitřní straně konstrukce se vnitřní povrchová teplota pohybovala v rozmezí od 33,7˚C do 27,5˚C. Naměřené vyšší vnitřní teploty vzduchu byly ovlivněny provozním režimem, kdy v rámci zajištění stejných okrajových podmínek pro měření nebyl vnitřní prostor ochlazován větráním venkovního vzduchu v nočních hodinách.




Obr. 3.24 Průběh naměřených teplot ve střešní konstrukci
Fig. 3.24 Course of the temperatures measured in the roof construction

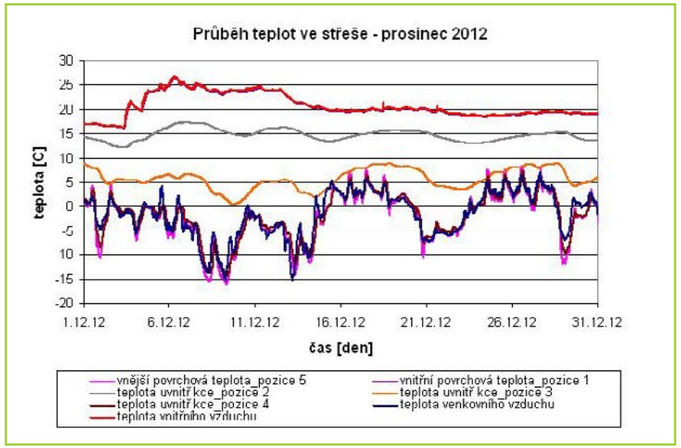


Figure 3.21 shows an installation of temperature and moisture sensors (positions 4 and 5) into the roof structure during the construction.

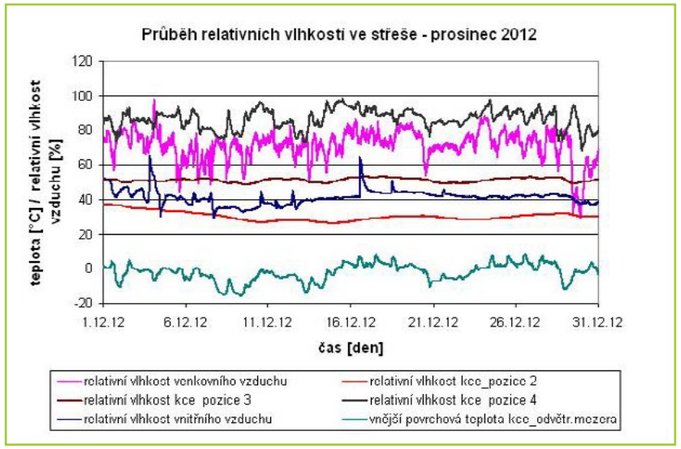
Fig. 3.22 and Fig. 3.23 show the measured courses of the temperature and the relative humidity in the roof construction of the timber building in winter - in December. The figures of the temperature and relative humidity inside the structure labelled with positions 1-5 show the location of the measuring sensors leading from the internal side of the structure out.

The measured courses of temperatures show, similar to the case of the peripheral structure, how the roof deck, thanks to its thermal insulation properties, copes with the courses of temperatures in the winter. While the external surface of the structure is strained with large differences between the surface temperature in the month of December (from 16.1°C to 8.4°C), the internal structure layers including the surface have an average surface structure temperature of 20.5°C. However, the course of the internal surface temperature is affected by the inside air temperature and the operating mode of the heating.
The course of the relative humidity inside the roof structure shows that there is no condensation inside the diffusion-open structure during the month of December. The maximum value of the relative humidity, which was obtained in the structure in December, is 98.2% (measured at position No. 4 - on the external side of the structure in the place of a ventilated gap).

The maximum external structure surface temperature of 51.1°C in the ventilated air gap and the minimum temperature of 3.9°C were measured in the summer period - in August (Fig. 3.24). However, the internal surface temperature ranged from 33.7°C to 27.5°C on the internal side of the structure. The measured higher internal air temperatures were affected by the operating mode where the internal space was not cooled by outside air ventilation at night in order to ensure the same marginal conditions for the measurement.




Obr. 3.22 Průběh naměřených teplot ve střešní konstrukci
Fig. 3.22 Course of the measured temperatures in the roof construction




Obr. 3.23 Průběh naměřených relativních vlhkostí ve střešní konstrukci
Fig. 3.23 Course of the relative humidity measured in the roof construction

### 3.5 Měření parametrů vnitřního prostředí

Měření parametrů vnitřního prostředí zahrnuje měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu (Obr. 3.24). Teplota vnitřního vzduchu je monitorována dvěma snímači – teplotním snímačem Pt1000 a teplotně-vlhkostním snímačem HC2-S RH/T Rotronic. Snímače jsou umístěny ve všech místnostech ve 2. nadzemním podlaží ve výškové úrovni cca 1,8 m nad podlahou (výškovou úroveň je možné měnit).
Pro účely výzkumu jsou využívána i data z měřících čidel, které jsou součástí systému měření a regulace – např. koncentrace $CO^2$ v jednotlivých místnostech, osvětlenost v jednotlivých místnostech, data z meteostanice umístěné na střeše objektu, teploty vzduchu v zemním výměníku apod.

Na teplotě a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu se podílí řada faktorů: venkovní teplota vzduchu, vytápění, chlazení, větrání, zastínění oken apod. Na obr. 3.25 je znázorněn průběh vnitřní teploty vzduchu ve dvou stejných místnostech ve 2. NP (viz Obr. 3.12), které se odlišují rozdílným nastavením stínících žaluzií na oknech orientovaných na jižní stranu. Místnost M204 měla plně zastíněná okna (zastínění oken 100%), Místnost M203 měla stínící žaluzie ve vodorovné poloze (zastínění oken 0,4%). Vliv zastínění oken se projevil snížením vnitřní teploty vzduchu v místnosti o 2,5˚C. V místnosti během měření nebyla zajišťována nucená ani přirozená výměna vzduchu.

Obr. 3.25 Teplotní a vlhkostní čidla pro měření parametrů vnitřního prostředí
Fig. 3.25 Temperature and humidity sensors for measuring of the indoor environment parameters

## 4. VYUŽITÍ OBJEKTU

### 4.1 Věda a výzkum

#### 4.1.1 Teoretický výzkum

Současně s experimentálním měřením fyzikálně-mechanických vlastností stavebních konstrukcí dřevostavby probíhá také teoretický výzkum. Cílem teoretického výzkumu je ověření přesnosti používaných výpočtových metod pro stanovení např. teplotního pole ve stavební konstrukci v porovnání s reálnými výsledky z experimentálního měření.
Účelem výzkumu je ověření vhodnosti použití numerické simulační metody pro predikci teplotního chování lehkých stavebních konstrukcí na bázi dřeva, které má významný vliv na tepelnou pohodu vnitřního prostředí.

Pro teoretickou analýzu tepelného chování obvodové konstrukce byla zvolena numerická implicitní metoda – metoda konečných prvků, která je pro řešení zejména nestacionárních vícerozměrných tepelných úloh vhodnější než metoda analytická. Podstata metody spočívá v diskretizaci prostoru, resp. času. Numerické metody umožňují získat řešení tepelného (resp. teplotního) problému v konečném počtu diskrétních míst (uzlů) zvolené sítě a to v celé oblasti, nebo její části. Pro numerický simulační výpočet byl použit program ANSYS 12 a AREA 2011.

Numerická simulace teplotního chování obvodových konstrukcí dřevostavby byla provedena pro 3 vybrané konstrukční detaily dřevostavby, které se odlišují materiálovou skladbou a orientací vůči světovým stranám:

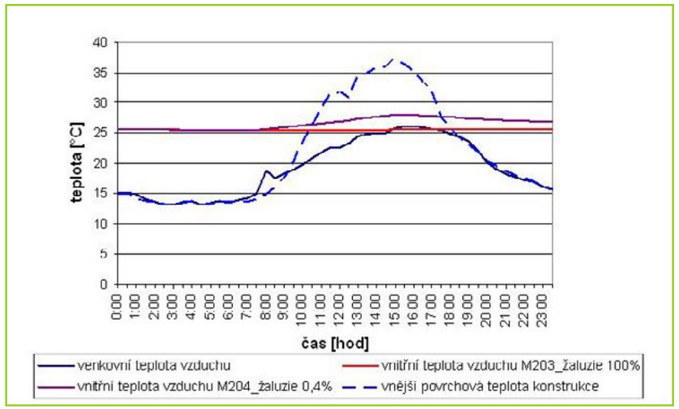
- detail 1 (obvodová stěna, jižní fasáda),
- detail 2 (kout obvodových stěn, severozápadní fasáda),
- detail 3 (střešní konstrukce).

Všechny detaily byly hodnoceny pro zimní a letní období. Teoretická analýza všech detailů byla provedena pro reálné okrajové podmínky pro zimní a letní období získané experimentálním měřením.



### 3.5 Measurements of the internal environment parameters

The measurement of the internal environment parameters includes measurements of temperatures and relative humidity (Figure 3.25). The indoor air temperature is monitored by two sensors - temperature sensor Pt1000 and temperature-humidity sensor HC2-S RH / T Rotronic. The sensors are placed in all rooms on the 2nd floor at the height of about 1.8 m above the floor (the height can be changed).
The data from the measuring sensors that are part of the measurement and control system - for example the concentration of $CO^2$ in individual rooms, lighting in individual rooms, data from the weather station located on the roof of the building, the air temperature in the ground heat exchanger, etc. - are used for research purposes as well.




Obr. 3.26 Vliv zastínění oken na průběh vnitřní teploty vzduchu
Fig. 3.26 Effect of window shading on the progress of the internal air temperature

A number of factors, such as external air temperature, heating, cooling, ventilation, blinds, etc., contribute to the temperature and relative humidity of the indoor air. Figure 3.26 shows the course of the internal air temperature in the same two rooms on the 1st floor (see Fig. 3.13), which vary according to different settings of shading blinds on the windows facing the south. The windows in room M204 were fully shaded (windows shaded from 100%), shading blinds were in horizontal position in room M203 (windows shaded from 0.4%). The effect of the shading led to a decrease of the internal temperature in the room by 2.5°C. The room was not provided with either forced or natural air exchange during the measurement.

## 4. USE OF THE BUILDING

### 4.1 Science and research

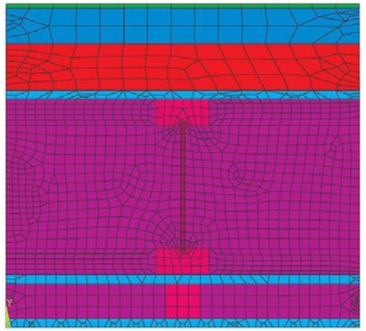
#### 4.1.1 Theoretical research

Theoretical research takes place simultaneously with experimental measurements of physical and mechanical properties of the engineering structure of the timber construction. The aim of the theoretical research is to verify the accuracy of applied calculation methods to define e.g. a temperature field inside an engineering structure in comparison with real results from experimental measurements.The purpose of the research is to verify the suitability of the applied numerical simulation method to predict the thermal behaviour of light engineering structures based on timber, which has a significant impact on temperature contentment inside a building.

An implicit numerical method was selected to analyse the thermal behaviour of the circumferential construction theoretically. This numerical implicit method of finite elements is more suitable for non-stationary multi-measurement thermal calculations than the analytical method. The method is based on discretization of the space (resp. the time). Numerical methods allow us to obtain a solution for the thermal (or temperature) problem with a final number of discrete places (junctions) in a selected network covering either the whole area or just a selected part. Programmes ANSYS 12 and AREA 2011 were used for the numerical simulation calculation.

Celý proces přípravy a výpočtu simulačního modelu v programu ANSYS lze rozdělit do tří základních fází:

*1. Preprocessing* – příprava vstupních dat. Řešené modely obvodových konstrukcí byly vytvořeny pomocí plošných konečných prvků typu PLANE55 (Obr. 4.1, Obr. 4.2). Každý materiál byl definován pomocí tepelně technických vlastností: objemové hmotnosti, měrné tepelné kapacity, součinitele tepelné vodivosti. V rámci tvorby sítě byly přiřazeny jednotlivým plochám modelu jejich atributy, celý prvek byl rozdělen sítí a byly vytvořeny uzly.



Obr. 4.1 Numerický model typu PLANE55
Fig. 4.1 PLANE55 Numerical Model circumferential wall (detail 1)

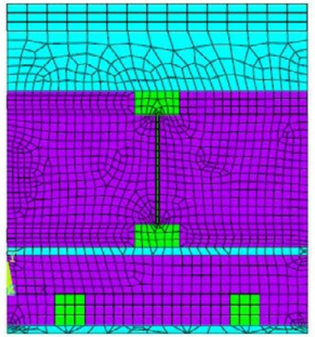
*2. Processing* – výpočet (numerické jádro), Analýza výpočtu byla řešena jako dvourozměrná stacionární a nestacionární úloha, Nestacionární úloha vyžaduje zadání času a časového kroku. Pro výpočet byl použit minimální časový krok 100 s a maximální časový krok shodný s časovým krokem měření (3600 s). Celková délka hodnoceného časového úseku byla zvolena 24 hodin. Počáteční podmínka výpočtu, která popisuje rozložení teploty v tělese na počátku děje v čase $t_0$, byla do výpočtu pro letní období řešena pomocí referenční teploty θ = 30 ˚C. Tato teplota byla ověřována simulačními výpočty, aby počáteční teplotní stav konstrukce odpovídal skutečným naměřeným teplotám v čase t0. Pro zimní období byla počáteční podmínka rozložení teploty uvnitř konstrukce nejdříve nastavena pomocí simulačního výpočtu teplotního pole za stacionárních podmínek (pro detail 1: $\Theta_{se}$ = -6,5 ˚C, $\Theta_{si}$ = 18,8˚C, pro detail 2: $\Theta_{se}$ = -5,0 ˚C, $\Theta_{si}$ = 17,1 ˚C) a tento stav byl dále použit jako počáteční podmínka pro nestacionární výpočet. Počáteční podmínka rozložení teplotního pole byla ověřována simulačními výpočty, aby počáteční teplotní stav konstrukce v čase $t_0$ odpovídal skutečným naměřeným teplotám.

Okrajové podmínky nestacionárního výpočtu pro zimní období byly definovány pro vnější stranu konstrukce pomocí podmínky 1. druhu Dirichletovy - vnější povrchové teploty konstrukce byly dosazeny z reálných naměřených hodinových hodnot v časovém úseku od 6,00 hod. dne 26.1. do 5,00 hod. dne 27.1. 2013. Pro vnitřní stranu konstrukce byla nastavena okrajová podmínka 1. druhu Dirichletova – průměrná vnitřní povrchová teplota konstrukce $\Theta_{sim}$ = 18,8 ˚C, která byla uvažována konstantní v celém časovém úseku 24 hodin pro detail 1 a pro detail 2 byla uvažována konstantní povrchová teplota $\Theta_{sim}$ = 17,1 ˚C.

Okrajové podmínky nestacionárního výpočtu pro letní období byly definovány pro vnější stranu konstrukce pomocí podmínky 1. druhu Dirichletovy - vnější povrchové teploty konstrukce byly dosazeny z reálných naměřených hodinových hodnot pro den 8. 8. 2013 (od 1,00 hod, do 24,00 hod.), Pro vnitřní stranu konstrukce byla nastavena okrajová podmínka 1. druhu Dirichletova – vnitřní povrchová teplota konstrukce $\Theta_{si}$ = 32,1 ˚C, která byla uvažována konstantní v celém časovém úseku 24 hodin pro detail 1 a pro detail 2 byla uvažována konstantní povrchová teplota $\Theta_{si}$ = 33,2 ˚C.

*3. Postprocessing* – zpracování dat. Na Obr. 4.3 až 4.5 jsou uvedeny vypočtené průběhy teplotního pole v konstrukčních detailech ve 14 hodin dne 8.8.





Obr. 4.2 Numerický model typu PLANE55
Fig. 4.2 PLANE55 Numerical Model roof (detail 3)

The numerical simulation of the temperature behaviour of the circumferential construction of the timber building was performed for 3 selected construction details of the timber building which differ in their material composition and orientation towards the four cardinal directions:

- detail 1 (circumferential wall , the south facade)
- detail 2 (the corner of circumferential walls, the north-west facade)
- detail 3 (roof construction)

All details were evaluated for both the summer and winter seasons of the year. A theoretical analysis of all details was performed for real boundary conditions in the summer and in the winter which were obtained through experimental measurements.

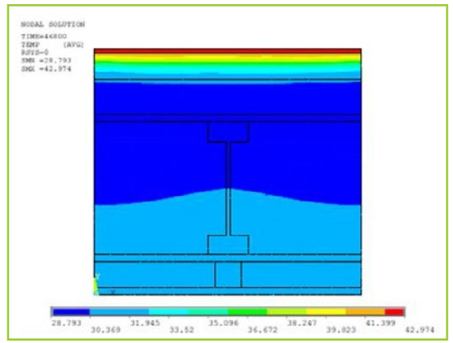
The whole process of the preparation and calculation of the simulation model in ANSYS programme can be divided into three basic stages:

1) *Pre-processing* – preparation of input data. The solved models of circumferential structures were created using type PLANE55 surface finite elements (Fig. 4.1, Fig. 4.2). Each material was defined using thermo-technical properties: volumetric weight, specific heat capacity, coefficient of thermal conductivity. Particular attributes were allocated to individual surfaces under the network creation; the whole element was divided with a network and junctions were created.

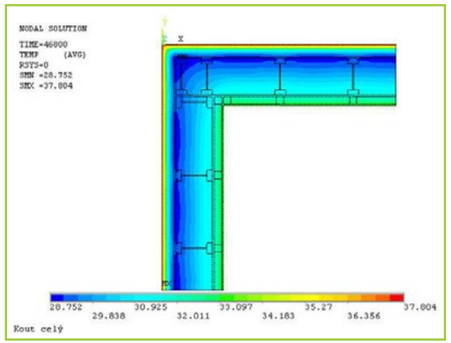
*2. Processing* – calculation (numerical core). The analysis of the calculation was solved as a two-dimensional stationary and non-stationary task. The non-stationary task requires an input of the time and the time step. The minimum time step of 100s and the maximum time step, identical with the time step of the measurements (3,600 s), were used for the calculation. The total length of the evaluated time segment was set at 24 hours.
The initial condition of the calculation, which describes a distribution of temperature within a body at the beginning of an action with time t0, was calculated with a reference temperature θ = 30°C for the summer season. This temperature was verified with simulation calculations so that the initial thermal condition of the structure could correspond with real measured temperatures in time $t_0$. For the winter season, the initial condition for the temperature distribution within a construction was first set through a simulation calculation of a thermal field under stationary conditions (for detail 1: $\Theta_{se}$ = -6,5°C, $\Theta_{si}$ = 18,8°C, for detail 2: $\Theta_{se}$ = -5,0°C, $\Theta_{si}$ = 17,1°C) and this state was further used as an initial condition for a non-stationary calculation. The initial condition of a temperature field distribution was verified through simulation calculations so that the initial thermal condition of the structure in time $t_0$ could correspond with real measured temperatures.

The boundary conditions for the non-stationary calculation for the winter season were defined for the external side of the engineering structure using the Dirichlet first-type condition – the external surface temperatures of the structure were used from the real measured hourly rates from 6:00 o'clock on 26.1. until 5:00 o'clock on 27.1. 2013. For the internal side of the engineering structure, the Dirichlet first-type condition was set – the average internal surface temperature of the structure $\Theta_{sim}$ = 18,8°C, which was considered to be constant over the whole time segment for detail 1 and the constant surface temperature $\Theta_{sim}$ = 17,1°C was considered constant for detail 2.

The boundary conditions for the non-stationary calculation for the summer season were defined for the external side of the engineering structure using the Dirichlet first-type condition – the external surface temperatures of the structure were used from the real measured hourly rates on 8. 8. 2013 (from 1:00 o'clock until 24:00 o'clock). For the internal side of the engineering structure, the Dirichlet first-type condition was set – the internal surface temperature of the structure $\Theta_{sim}$ = 32,1°C, which was considered to be constant over the whole time segment of 24 hours for detail 1 and the constant surface temperature $\Theta_{sim}$ = 33,2°C was considered constant for detail 2.



Obr. 4.3 Teplotní pole v obvodové stěně (detail 1)
Fig. 4.3 Temperature field in the circumferential wall (detail 1)



Obr. 4.4 Teplotní pole v koutu (detail 2)
Fig. 4.4 Temperature field in the corner (detail 2)

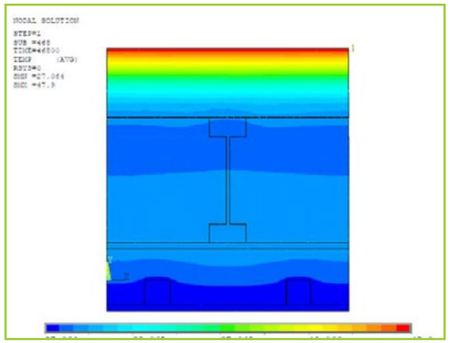
### 4.1.2 Ověření výsledků teoretického výzkumu a experimentálního měření

V tab. 4.1 a 4.2 jsou pro srovnání uvedeny výsledky numerického výpočtu teplotního pole a experimentálního měření v detailu 1 (v místech měřících čidel) ve vybraný letní den 8.8. a ve vybraný zimní den 26.-27.1. Oba dny byly vybrány s ohledem na vnější teploty, které ve svém maximu (minimu) se blížily normovým hodnotám teplot dle[1, 2].

| čas | číslo pozice teplotního čísla | teploty [°C] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [hod] | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1:00 | Experim. | 32,0 | 31,1 | 30,1 | 29,7 | 21,7 |
| | Ansys | 32,1 | 30,1 | 30,0 | 29,9 | 21,7 |
| 5:00 | Experim. | 31,7 | 31,1 | 30,1 | 28,8 | 19,8 |
| | Ansys | 32,1 | 30,5 | 30,0 | 29,8 | 19,8 |
| 9:00 | Experim. | 31,6 | 31,1 | 29,8 | 29,3 | 27,1 |
| | Ansys | 32,1 | 30,8 | 30,1 | 27,7 | 27,1 |
| 13:00 | Experim. | 31,9 | 31,0 | 29,5 | 29,3 | 41,6 |
| | Ansys | 32,1 | 31,1 | 30,1 | 29,9 | 41,6 |
| 15:00 | Experim. | 32,3 | 31,0 | 29,5 | 28,3 | 43,8 |
| | Ansys | 32,1 | 31,1 | 30,1 | 29,1 | 43,8 |
| 19:00 | Experim. | 32,9 | 31,2 | 29,9 | 29,8 | 34,4 |
| | Ansys | 32,1 | 31,3 | 30,2 | 29,9 | 34,4 |
| 23:00 | Experim. | 32,7 | 31,5 | 30,5 | 30,5 | 24,8 |
| | Ansys | 32,1 | 31,4 | 30,5 | 30,6 | 24,8 |

Tab. 4.1 Výsledky experimentálního měření a numerického výpočtu teplotního pole v detailu 1 v letním období (8.8. 2013)





Obr. 4.5 Teplotní pole v koutu (detail 2)
Fig. 4.5 Temperature field in the roof (detail 3)

*3. Post-processing* – data processing. Figure 4.3. shows the course of temperature field in the construction details at 14:00 on 8. 8.

### 4.1.2 Verifying results from the theoretical research and experimental measurements

Tables 4.1 and 4.2 compare results of numerical calculations of the temperature field and experimental measurements in detail 1(in places of sensors) on the selected summer day of 8.8. and on the selected winter day of 26. – 27. 1. Both days were selected with respect to outside temperatures whose maximum and minimum readings were approaching standard temperature readings according to[1,2].

| time | no. of the temperature sensor position | temperatures [°C] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [o'clock] | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1:00 | Experim. | 32,0 | 31,1 | 30,1 | 29,7 | 21,7 |
| | Ansys | 32,1 | 30,1 | 30,0 | 29,9 | 21,7 |
| 5:00 | Experim. | 31,7 | 31,1 | 30,1 | 28,8 | 19,8 |
| | Ansys | 32,1 | 30,5 | 30,0 | 29,8 | 19,8 |
| 9:00 | Experim. | 31,6 | 31,1 | 29,8 | 29,3 | 27,1 |
| | Ansys | 32,1 | 30,8 | 30,1 | 27,7 | 27,1 |
| 13:00 | Experim. | 31,9 | 31,0 | 29,5 | 29,3 | 41,6 |
| | Ansys | 32,1 | 31,1 | 30,1 | 29,9 | 41,6 |
| 15:00 | Experim. | 32,3 | 31,0 | 29,5 | 28,3 | 43,8 |
| | Ansys | 32,1 | 31,1 | 30,1 | 29,1 | 43,8 |
| 19:00 | Experim. | 32,9 | 31,2 | 29,9 | 29,8 | 34,4 |
| | Ansys | 32,1 | 31,3 | 30,2 | 29,9 | 34,4 |
| 23:00 | Experim. | 32,7 | 31,5 | 30,5 | 30,5 | 24,8 |
| | Ansys | 32,1 | 31,4 | 30,5 | 30,6 | 24,8 |

Tab. 4.1 Results from the experimental measurements and numerical calculations of the temperature field in detail 1 in the summer season (on 8. 8. 2013)

Z uvedených výsledků je zřejmý shodný průběh teplot naměřených a vypočtených v jednotlivých pozicích teplotních snímačů. Výsledky výzkumu prokázaly vhodnost použití dynamických simulačních metod pro teplotní analýzu stavebních konstrukcí.

| čas | číslo pozice teplotního čísla | teploty [°C] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [hod] | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6:00 | Experim. | 18,7 | 15,6 | 8,4 | 1,2 | -7,3 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,3 | 1,1 | -7,3 |
| 10:00 | Experim. | 18,8 | 15,8 | 8,4 | 1,1 | -7 |
| | Ansys | 18,8 | 15,7 | 8,8 | 1,0 | -7 |
| 14:00 | Experim. | 18,8 | 15,6 | 8,4 | 1,0 | -3,2 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,5 | 0,9 | -3,2 |
| 18:00 | Experim. | 18,8 | 15,6 | 8,3 | 1,1 | -7,6 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,4 | 1,0 | -7,6 |
| 22:00 | Experim. | 18,8 | 15,6 | 8,4 | 1,2 | -12,9 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,3 | 1,1 | -12,9 |
| 2:00 | Experim. | 18,8 | 15,6 | 8,4 | 0,9 | -13 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,3 | 1,0 | -13 |
| 5:00 | Experim. | 18,7 | 15,6 | 8,2 | 0,4 | -10,1 |
| | Ansys | 18,8 | 15,7 | 8,5 | 0,2 | -10,1 |

Tab. 4.2 Výsledky experimentálního měření a numerického výpočtu teplotního pole v detailu 1 v zimním období (26.-27.1.)

V Tab. 4.3 je uvedeno porovnání výsledků numerického výpočtu teplotního pole pro různé okrajové podmínky a pro vybranou hodinu (normové nestacionární podmínky[2] a skutečné nestacionární podmínky získané měřením) a experimentálního měření ve všech 3 konstrukčních detailech.

| číslo pozice teplotního čidla | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| | Teploty v detailu 1 [°C] | | | | |
| **Experimentální měření** | 32,1 | 31,0 | 29,5 | 28,0 | 43,0 |
| ANSYS – a) normové podmínky 21.7. ve 14 hodin | 27,1 | 28,5 | 29,3 | 29,0 | 47,8 |
| ANSYS – b) naměřené podmínky 8.8. ve 14 hodin | 32,1 | 31,1 | 30,1 | 29,0 | 43,0 |
| | Teploty v detailu 2 [°C] | | | | |
| **Experimentální měření** | 34,1 | 33,0 | 30,8 | 29,0 | 37,9 |
| ANSYS – a) normové podmínky 21.7. ve 14 hodin | 27,1 | 28,5 | 29,1 | 28,3 | 37,9 |
| ANSYS – b) naměřené podmínky 8.8. ve 14 hodin | 34,1 | 32,2 | 30,3 | 29,1 | 37,9 |
| | Teploty v detailu 3 [°C] | | | | |
| **Experimentální měření** | 33,2 | 31,4 | 29,2 | 28,2 | 47,9 |



The above results show identical course of temperatures measured and calculated in individual positions of temperature sensors. The research results proved that dynamic simulation methods are suitable for temperature analysis of engineering structures.

| time | no. of the temperature sensor position | temperatures [°C] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [o'clock] | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6:00 | Experim. | 18,7 | 15,6 | 8,4 | 1,2 | -7,3 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,3 | 1,1 | -7,3 |
| 10:00 | Experim. | 18,8 | 15,8 | 8,4 | 1,1 | -7 |
| | Ansys | 18,8 | 15,7 | 8,8 | 1,0 | -7 |
| 14:00 | Experim. | 18,8 | 15,6 | 8,4 | 1,0 | -3,2 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,5 | 0,9 | -3,2 |
| 18:00 | Experim. | 18,8 | 15,6 | 8,3 | 1,1 | -7,6 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,4 | 1,0 | -7,6 |
| 22:00 | Experim. | 18,8 | 15,6 | 8,4 | 1,2 | -12,9 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,3 | 1,1 | -12,9 |
| 2:00 | Experim. | 18,8 | 15,6 | 8,4 | 0,9 | -13 |
| | Ansys | 18,8 | 15,5 | 8,3 | 1,0 | -13 |
| 5:00 | Experim. | 18,7 | 15,6 | 8,2 | 0,4 | -10,1 |
| | Ansys | 18,8 | 15,7 | 8,5 | 0,2 | -10,1 |

Tab. 4.2 Results from the experimental measurements and numerical calculations of the temperature field in detail 1 in the winter season (on 26. - 27. 1.)

Table. 4.3 compares results of the numerical calculation of the temperature field for various border conditions and for a selected hour of the day (standard non-stationary conditions[2] and real non-stationary conditions obtained through measurements) and experimental measurements in all 3 construction details.

| No. of the temperature sensor position | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| | Temperatures in detail 1 [°C] | | | | |
| **Experimental measurements** | 32,1 | 31,0 | 29,5 | 28,0 | 43,0 |
| ANSYS – a) standard conditions at 14:00 hrs of 21.7. | 27,1 | 28,5 | 29,3 | 29,0 | 47,8 |
| ANSYS – b) measured conditions at 14:00 hrs of 8.8. | 32,1 | 31,1 | 30,1 | 29,0 | 43,0 |
| | Temperatures in detail 2 [°C] | | | | |
| **Experimental measurements** | 34,1 | 33,0 | 30,8 | 29,0 | 37,9 |
| ANSYS – a) standard conditions at 14:00 hrs of 21.7. | 27,1 | 28,5 | 29,1 | 28,3 | 37,9 |
| ANSYS – b) measured conditions at 14:00 hrs of 8.8. | 34,1 | 32,2 | 30,3 | 29,1 | 37,9 |
| | Temperatures in detail 3 [°C] | | | | |
| **Experimental measurements** | 33,2 | 31,4 | 29,2 | 28,2 | 47,9 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ANSYS – a) normové podmínky 21.7. ve 14 hodin | 27,7 | 30,6 | 34,8 | 36,8 | 37,4 |
| ANSYS – b) naměřené podmínky 8.8. ve 14 hodin | 33,2 | 30,5 | 39,5 | 28,9 | 47,9 |

Tab. 4.3 Porovnání výsledků numerického výpočtu teplotního pole a experimentálního měření v letním období

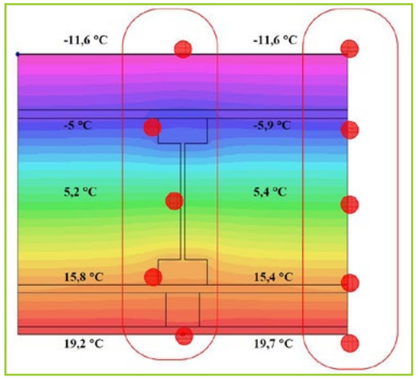
Výsledky prokazují, že výpočtové postupy při uvažování naměřených nestacionárních okrajových podmínek se více přibližují svými hodnotami k naměřeným veličinám než výpočty při uvažování normových nestacionárních okrajových podmínek.

V Tab. 4.4 je uvedeno porovnání výsledků numerického výpočtu pro různé okrajové podmínky (normové stacionární podmínky - program AREA a naměřené nestacionární podmínky – program ANSYS) v konstrukčním detailu 1 a experimentálního měření. Výpočet byl proveden pro zimní období, protože normové výpočetní metody vychází z řešení za stacionárních okrajových podmínek a bylo možné provést srovnání. V konstrukčním detailu 1 byl výpočet proveden ve dvou příčných profilech stěny – v ose mezi dřevěnými sloupky a v místě dřevěného sloupku z důvodu vyhodnocení vlivu tepelného mostu na teplotní pole v konstrukci.

| | Teplota v ose mezi sloupky [°C] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| číslo pozice teplotního čidla | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **Experimentální měření** | -8,9 | -1,9 | 7,2 | 15,6 | 19,1 |
| Výpočet programem AREA | -11,6 | -5,9 | 5,4 | 15,4 | 19,7 |
| Výpočet programem ANSYS | -8,0 | -2,0 | 7,0 | 15,6 | 19,6 |
| | Teploty v místě sloupku [°C] | | | | |
| **Experimentální měření** | -8,8 | -0,2 | 8,4 | 15,2 | 18,7 |
| Výpočet programem AREA | -11,6 | -5,0 | 5,2 | 15,8 | 19,2 |
| Výpočet programem ANSYS | -8,0 | -3,4 | 6,0 | 15,9 | 19,2 |

Tab. 4.4 Porovnání výsledků experimentálního měření a numerického výpočtu

Z uvedených naměřených hodnot a výstupů teplot z programů AREA a ANSYS je zřejmé, že vliv tepelného mostu (nosného dřevěného sloupku) v obvodové stěně se projevuje zvýšeným prostupem tepla v daném místě, Rozdíl teplot v jednotlivých místech konstrukce se pohybuje u naměřených hodnot v rozmezí 0,1 až 1,7˚C. I když srovnání výsledků měření a jednotlivých výpočetních postupů je problematické z důvodu navzájem těžko porovnatelných okrajových podmínek, ukazuje se, že výpočtové postupy při uvažování nestacionárního přenosu tepla se více přibližují svými hodnotami k naměřeným veličinám než stacionární výpočty.




Obr. 4.6: Výsledky řešení teplotního pole v detailu 1 v programu AREA
Obr. 4.6: Results of the solution of the temperature field in detail 1 in AREA programme

[1] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 356 s.
[2] ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986. 30 s.



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ANSYS – a) standard conditions at 14:00 hrs of 21.7. | 27,7 | 30,6 | 34,8 | 36,8 | 37,4 |
| ANSYS – b) measured conditions at 14:00 hrs of 8.8. | 33,2 | 30,5 | 39,5 | 28,9 | 47,9 |

Tab. 4.3 Comparison of results from the numerical calculation of the temperature field and experimental measurements in the summer season.

The results prove that the calculation processes considering the measured non-stationary boundary conditions approach the measured quantities more than the calculations considering standard non-stationary boundary conditions.

Table 4.4. compares results from the numerical calculation for various boundary conditions (standard stationary conditions – AREA programme and measured non-stationary conditions – ANSYS programme in construction detail 1 and experimental measurements. The calculation was performed for the winter season because standard calculation methods issue from the solutions during stationary boundary conditions and it was possible to compare them.
For construction detail 1, the calculation was performed in two transverse profiles of walls – in the axis between two wooden columns and in the place of a wooden column so that the effect of a thermal bridge on the temperature field in the structure could be evaluated.

| | Temperature in the axis between the columns [°C] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| No. of the temperature sensor position | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **Experimental measurement** | -8,9 | -1,9 | 7,2 | 15,6 | 19,1 |
| Calculation in AREA programme | -11,6 | -5,9 | 5,4 | 15,4 | 19,7 |
| Calculation in ANSYS programme | -8,0 | -2,0 | 7,0 | 15,6 | 19,6 |
| | Temperature in the place of the column [°C] | | | | |
| **Experimental measurement** | -8,8 | -0,2 | 8,4 | 15,2 | 18,7 |
| Calculation in AREA programme | -11,6 | -5,0 | 5,2 | 15,8 | 19,2 |
| Calculation in ANSYS programme | -8,0 | -3,4 | 6,0 | 15,9 | 19,2 |

Tab. 4.4 Comparison of results from the experimental measurement and the numerical calculation

The above listed readings and temperature outputs from AREA and ANSYS programmes clearly show that the impact of the thermal bridge (the bearing wooden column) in the circumferential wall demonstrates itself in an increased transmission of heat in a particular area. The difference between temperatures in individual parts of the engineering structure oscillates between 0,1 and 1,7°C for the measured values. It is problematic to compare results from the measurements and individual calculation processes, due to difficulties in mutual comparisons of boundary conditions, still we can see that the calculation processes when considering the non-stationary transfer of heat get closer to the measured quantities than the stationary calculations.

[1] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 356 s.
[2] ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986. 30 s.

Publikace byla realizována za finančního přispění Evropské unie v rámci projektu Partnerství v oblasti stavebnictví a architektury, č. projektu: CZ.1.07/2.4.00/17.0064.

**Autoři:**

**Ing. Jan Poledník** — **kapitola 1**
**Ing. Josef Pavlík** — **kapitola 2**
**Ing. Iveta Skotnicová, Ph.D.** — **kapitola 3 a kapitola 4**

**Překlad:**

**Mgr. Marie Sandersová**

Poznámka: Jednotlivé texty neprošly redakční ani jazykovou úpravou a za jejich správnost a úplnost ručí autoři.

This publication was co-financed by the European Union under the project 'Partnership within Civil Engineering and Architecture', no. CZ.1.07/2.4.00/17.0064.

**Authors:**

**Ing. Jan Poledník** — **chapter 1**
**Ing. Josef Pavlík** — **chapter 2**
**Ing. Iveta Skotnicová, Ph.D.** — **chapter 3 and chapter 4**

**Translation:**

**Mgr. Marie Sandersová**

Disclaimer: the individual contributions to the publication were not post-edited. Therefore, it is the authors who bear the responsibility for the accuracy.

© 2014 • tirata.cz

MSDK
Moravskoslezský dřevařský klastr

## KONTAKT / CONTACT

**Moravskoslezský dřevařský klastr (MSDK)**
Studentská 6202
708 33 Ostrava-Poruba

**Telefon:**
+420 558 272 429
+420 558 272 430
**E-mail:** info@msdk.cz

**www.msdk.cz**

ISBN 978-80-905447-1-0

esf evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ