

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Robotické zdění stěn s následným zateplením moderními tepelnými izolacemi

Autor práce: Bc. Kristýna Fantová

Vedoucí práce: Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.

Akademický rok: 2023/2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Kristýna FANTOVÁ**
Osobní číslo: **A22N0148P**
Studijní program: **N0732P260002 Stavební inženýrství – Moderní budovy**
Specializace: **Navrhování a provádění budov**
Téma práce: **Robotické zdění stěn s následným zateplením moderními tepelnými izolacemi**
Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

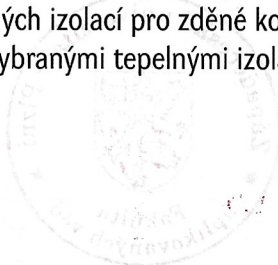
Zásady pro vypracování

Obsah práce: Shromáždění údajů a podkladů o robotickém zdění a doplnění tepelných izolací moderního zdiva.

Cíl práce: Cílem práce je poskytnout informace o moderním způsobu zdění – robotickém zdění a vhodná doporučení technického řešení stěn zděných staveb a jejich tepelného doizolování.

Zásady pro vypracování:

1. Popis robotické výstavby zděných stěn a výhody a nevýhody robotického zdění.
2. Analýza a použití moderních tepelných izolací pro zděné konstrukce včetně robotického zdění.
3. Posouzení detailů stěna – strop s vybranými tepelnými izolacemi.
4. Vyhodnocení a závěry.



Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **textová zpráva, statické a fyzikální výpočty, nákresy, fotografie**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

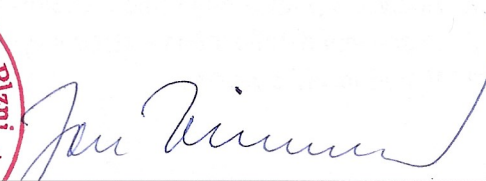
1. Podklady výrobců zděicích prvků.
2. Legislativní obecně technické požadavky pro stavby.
3. Normy pro navrhování nosných konstrukcí staveb řady ČSN EN 1996 a stavební fyziku ČSN 73 0540.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **11. října 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. května 2024**



Doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 11. října 2023

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Robotické zdění stěn s následným zateplením moderními tepelnými izolacemi“ vypracovala samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce pana Ing. Ludka Vejvary, Ph.D. Veškeré podklady použité k vypracování této práce jsou uvedeny v seznamech.

V Plzni dne

Bc. Kristýna Fantová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Ludřkovi Vejvarovi, Ph.D. za ochotný a vstřícný přístup a za cenné a užitečné rady během konzultací. Zároveň bych chtěla poděkovat všem vyučujícím, kteří mi předávali své vědomosti během mého studia v bakalářském i navazujícím studiu. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Matěji Jurečkovi ze společnosti Wienerberger, který mi poskytl podklady k prvnímu zdícímu robotovi v České republice a Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D., který mi zodpověděl mé dotazy k robotickému stavebnímu systému DEKMATIC.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat mé rodině a mým nejbližším za výjimečnou podporu a laskavost během mých studentských let.

Anotace

Předmětem této diplomové práce je rozbor vybraných zdících systémů, popis vlastností vybraných pomocných robotů ve stavebnictví a analýza vybraných druhů moderních tepelných izolací.

Praktická část spočívá v posouzení detailu stěna – strop – stěna v programu Area 2017 EDU, kdy bylo v oblasti stropu použito různých materiálů s různými tepelně izolačními vlastnostmi. Pro zpracování výkresů byl použit program Autodesk AutoCAD 2019.

Klíčová slova

Robot, zdivo, robotické zdění, bezpečnost, produktivita, tepelná izolace, součinitel tepelné vodivosti, faktor difúzního odporu

Abstract

The subject of this Diploma thesis is the analysis of selected masonry systems, the description of the properties of chosen auxiliary robots in construction, and the analysis of selected types of modern thermal insulations.

The practical part consists of evaluating the wall-ceiling-wall detail in the Area 2017 EDU program, where various materials with different thermal insulation properties were used in the ceiling area. Autodesk AutoCAD 2019 was used for drawing production.

Keywords

Robot, masonry, bricklaying robot, safety, productivity, thermal insulation, thermal conductivity coefficient, diffusion resistance factor

Bibliografická citace VŠKP

FANTOVÁ, Kristýna. Robotické zdění stěn s následným zateplením moderními tepelnými izolacemi. Plzeň, 2024. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra mechaniky. Vedoucí práce Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.

Obsah

Seznam obrázků.....	8
Seznam tabulek	12
Úvod.....	13
1. Historie	14
1.1 Historie robotického zdění	14
1.2 Historie tepelných izolací	16
2. Robotické zdící systémy.....	17
2.1 Výhody.....	17
2.2 Nevýhody.....	18
2.3 Příklady robotických zdících systémů.....	20
2.3.1 SAM.....	20
2.3.2 HADRIAN X	21
2.3.3 In-Situ Fabricator	24
2.3.4 Wienerberger	25
2.3.5 DEKMATIC	31
2.4 Zhodnocení robotických zdících systémů.....	35
3. Pomocní roboti ve stavebnictví.....	37
3.1 Příklady pomocných robotů	37
3.1.1 MULE.....	37
3.1.2 KUKA	39
3.1.3 FieldPrinter	43
3.1.4 HP SitePrint	45
3.1.5 Jaibot.....	47
3.1.6 Baubot.....	49
3.2 Zhodnocení pomocných robotů.....	52
4. Moderní tepelné izolace	53
4.1 Příklady tepelných izolací	57
4.1.1 Aerogel.....	57
4.1.2 Fenolická pěna.....	59
4.1.3 Pěnové sklo	60
4.1.4 Vakuové izolace	62
4.1.5 PUR	64

4.1.6	PIR.....	66
4.1.7	Calostat	67
4.1.8	SuperFOIL.....	69
4.1.9	Celulózová izolace.....	71
4.2	Zhodnocení vybraných tepelných izolací	72
5.	Praktická část diplomové práce	74
5.1	Posouzení vybraných detailů zateplení styku stěna – strop – stěna v programu Area 2017 EDU.....	74
5.1.1	Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – polystyren EPS 70F	74
5.1.2	Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – aerogel 80	
5.1.3	Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – fenolická pěna.....	86
5.1.4	Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – vakuová izolace.....	92
5.1.5	Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – PUR deska.....	98
5.1.6	Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – PIR deska 104	
5.1.7	Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – Calostat.....	110
5.1.8	Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – superFOIL SF 19BB	116
5.1.9	Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – celulóza.....	122
6.	Závěr	128
	Seznam použité literatury	130
	Seznam výkresů	142

Seznam obrázků

Obrázek 1: Americký patent z roku 1904 udělený Johnu Thomsonovi na mechanický zednický stroj, THEB1M: A Short History of “Bricklaying Robots”, [kop. 2024-01-19] Zdroj: https://www.theb1m.com/video/a-short-history-of-bricklaying-robots	14
Obrázek 2: Zdící stroj „Motor Mason“ z roku 1967, CONSTRUCTION MANAGEMENT, Motor Mason, the 1960s bricklaying ‘robot’, discovered in British Pathé archive, [kop. 2024-01-19] Zdroj: https://constructionmanagement.co.uk/1960s-bricklaying-robot-discovered-in-british-pathe/	15
Obrázek 3: Zdící robot SAM100 společnosti Construction Robotics, CONSTRUCTION ROBOTICS: Posts filed under: Uncategorized, [kop. 2024-02-07] Zdroj: https://www.construction-robotics.com/category/uncategorized/page/4/	21
Obrázek 4: Hadrian 105 společnosti Fastbrick Robotics, digitaltrends: Watch a giant house-building robot lay 1,000 bricks per hour [kop. 2024-02-10] Zdroj: https://www.digitaltrends.com/cool-tech/fastbrick-robotics-bricklayer-robot-hadrian-x/ ...	22
Obrázek 5: Hadrian X společnosti Fastbrick Robotics, FBR INNOVATION IN THE MAKING: An overnight success, 12 years in the making [kop. 2024-02-10] Zdroj: https://www.fbr.com.au/	23
Obrázek 6: Mobilní robot In-situ Fabricator při zdění, Robohub: In-situ Fabricator: An autonomous construction robot [kop. 2024-02-11] Zdroj: https://robohub.org/in-situ-fabricator-an-autonomous-construction-robot/	25
Obrázek 7: Zdící robot společnosti Wienerberger, EARCH.CZ: Neúnavný pomocník a inovátor. Zdící robot Wienerberger posouvá hranice stavebnictví [kop. 2024-02-11] Zdroj: https://www.earch.cz/revue/clanek/neunavny-pomocnik-a-inovator-zdici-robot-wienerberger-posouva-hranice-stavebnictvi	26
Obrázek 8: Poloha zdícího robota Wienerberger a poloha palet s cihlami vůči vyzdívané stěně, Wienerberger: Řešení pro robotické zdění, Robotické zdění a zdící robot [kop. 2024-03-12].....	28
Obrázek 9: Autonomní pohyb zdícího robota Wienerberger podél vyzdívané stěny, Wienerberger: Řešení pro robotické zdění, Robotické zdění a zdící robot [kop. 2024-03-12] 30	
Obrázek 10: Cihla Porotherm 30 RR Profi Dryfix, Wienerberger: Cihla Porotherm 30 RR Profi DRYfix - Broušená [kop. 2024-04-09] Zdroj: https://www.wienerberger.cz/zdivo-porotherm/produkty/cihly/cihla-porotherm-30-rr-profi-dryfix---brouena.html	31

- Obrázek 11: Autonomní robotický stavební systém společnosti DEK, DEK: DEKMATIC – robotická výstavba budoucnosti [kop. 2024-02-11] Zdroj: <https://www.dek.cz/dekmatic?title=dek-matic-roboticka-vystavba-budoucnosti>.....32
- Obrázek 12: Soubor komponentů MULE ML150 společnosti Construction Robotics, CONSTRUCTION ROBOTICS: MULE 150 OWNER’S MANUAL, [kop. 2024-02-10] Zdroj: <https://5511084.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/5511084/MULE/MULE%20ML150%20Owners%20Manual%20CR005220C.pdf>38
- Obrázek 13: Zdvihací zařízení MULE ML150 společnosti Construction Robotics Robotics, CONSTRUCTION ROBOTICS: MULE 150 OWNER’S MANUAL, [kop. 2024-02-07] Zdroj: <https://5511084.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/5511084/MULE/MULE%20ML150%20Owners%20Manual%20CR005220C.pdf>38
- Obrázek 14: Zdvihací zařízení MULE MZ100 společnosti Construction Robotics, CONSTRUCTION ROBOTICS: Posts THE MULE MZ100 IN ACTION, [kop. 2024-02-07] Zdroj: <https://www.construction-robotics.com/mz100/#1705344654125-36e2b533-f071>.....39
- Obrázek 15: Rozměry průmyslového robota KUKA KR Quantec ultra R3900, Ing. Žák Antonín, Ph.D., Vedoucí výzkumu a vývoje, DEK a.s. [kop. 2024-03-12].....40
- Obrázek 16: Robot KR Quantec je schopný za pomoci 3D tisku vytvořit produkty jakýkoliv tvarů, KUKA: Trvale udržitelné stavby: KR QUANTEC tiskne 3D fasády pro stavební firmu z Belgie, [kop. 2024-04-23] Zdroj: <https://www.kuka.com/cs-cz/firma/tisk/novinky/2021/05/besix-3d>.....41
- Obrázek 17: Dřevěný pavilon na výstavě BUGA 2019 v Heilbronn, KUKA: Roboty KUKA otevírají nové možnosti robotické výroby v architektuře, [kop. 2024-04-23] Zdroj: <https://www.kuka.com/cs-cz/pr%c5%afmyslov%c3%a1-odv%c4%9bvt%c3%ad/solutions-database/2019/07/d%c5%99ev%c4%9bn%c3%bd-pavilon-icd-na-v%c3%bdstav%c4%9b-buga>42
- Obrázek 18: Výroba nosné části z navinutých uhlíkových vláken objektu pro výstavu BUGA 2019 v Heilbronn Heilbronn, KUKA: Roboty v architektuře: Robot KUKA vyrábí díly pro pavilon na spolkové zahradní výstavě, [kop. 2024-04-23] Zdroj: <https://www.kuka.com/cs-cz/pr%c5%afmyslov%c3%a1-odv%c4%9bvt%c3%ad/solutions-database/2019/05/uhl%c3%adkov%c3%a1-vl%c3%a1kna-icd>.....43
- Obrázek 19: Autonomní mobilní tiskařský robot FieldPrinter od společnosti Dusty Robotics, THE ROBOT REPORT: Dusty Robotics scoops up \$16.5M Series A funding round, [kop. 2024-04-04] Zdroj: <https://www.therobotreport.com/dusty-robotics-scoops-up-16-5m-series-a-funding-round/>.....44

- Obrázek 20: Robotická tiskárna SitePrint od společnosti Hewlett-Packard Development Company, LP, HIGHWAYS TODAY: HP launches SitePrint site layout robot in the UK, [kop. 2024-04-04] Zdroj: <https://highways.today/2023/05/03/hp-siteprint/>46
- Obrázek 21: Poloautonomní vrtací robot Jaibot od společnosti Hilti AG, HILTI: BIM-powered robotics for MEP installation, [kop. 2024-04-04] Zdroj: <https://www.hilti.co.nz/content/hilti/A2/NZ/en/landing-pages/campaign/jaibot.html>47
- Obrázek 22: Plně automatický multifunkční robot Baubot MRS12, fischer: Strong support in your everyday challenges, [kop. 2024-04-09] Zdroj: <https://www.fischer-international.com/en/products/innovations/baubot>49
- Obrázek 23: Robot Baubot MRS12 při zdolávání překážek, VoxelMatters: Austrian startup Printstones revers multifunctional construction Baubot, [kop. 2024-04-11] Zdroj: <https://www.voxelmatters.com/austrian-startup-printstones-reveals-multifunctional-construction-baubot/>51
- Obrázek 24: Robot Baubot MRS5, BAUBOT: Construction Automation Products, [kop. 2024-04-11] Zdroj: <https://www.baubot.com/products>52
- Obrázek 25: Klasický křemičitý aerogelový monolit, AEROGEL.ORG: What is Aerogel? [kop. 2024-02-29] Zdroj: <http://www.aerogel.org/?p=3>58
- Obrázek 26: Fasádní desky z fenolické pěny KOOLTHERM K5, DEK: Tepelná izolace KOOLTHERM K5 80 mm (3,36 m²/bal.) [kop. 2024-03-02] Zdroj: <https://www.dek.cz/produkty/detail/1421013120-kooltherm-k5-80mm-3-36m2-bal>60
- Obrázek 27: Izolační deska z pěnového skla FOAMGLAS® T3++, IZOLACE – INFO: Izolační deska z pěnového skla FOAMGLAS® T3+[kop. 2024-03-02] Zdroj: <https://www.izolace-info.cz/katalog/penove-sklo/foamglas/izolacni-deska-z-penoveho-skla-foamglas-t3-p.html> 62
- Obrázek 28: Vakuový izolační panel VakuPro, PROPASIV: VakuPRO [kop. 2024-03-04] Zdroj: <https://eshop.propasiv.cz/product/451-vakupro>63
- Obrázek 29: Fasádní desky z polyuretanu, IZOLACE - INFO: Fasádní polyuretanové desky TPD-PUR 30/40 [kop. 2024-03-04] Zdroj <https://www.izolace-info.cz/katalog/polyuretan/pcc-morava-chem/tvrde-polyuretanove-desky-tpd-pur-30-40-p.html>64
- Obrázek 30: Aplikace stříkané PUR pěny, Ecotelligent Homes: Facts About Spray Foam Insulation [kop. 2024-03-04] Zdroj <https://www.ecotelligenthomes.com/facts-about-spray-foam-insulation/>65
- Obrázek 31: Stěnový panel od společnosti SATJAM, SATJAM Lehká střecha s tradicí: Sendvičové panely PIR [kop. 2024-03-07] Zdroj <https://www.satjam.cz/sendvicove-panely> .66

Obrázek 32: Tepelně izolační panel Calostat, STADUR SÜD WERKSTOFF-KOMPETENZ: High Performance Thermal Insulation Panel [kop. 2024-03-09] Zdroj <https://stadur-sued.com/en/products/calostat/>.....68

Obrázek 33: SuperFOIL SF19 FR, INSULATION SUPERSTORE: STADUR SuperFOIL SF19 FR Fire Rated Multifoil Insulation 1.5m x 10m [kop. 2024-03-10] Zdroj <https://www.insulationsuperstore.co.uk/product/superfoil-sf19-fr-fire-rated-multifoil-insulation-15m-x-10m.html>.....69

Obrázek 34: Celulózová izolace, www.ekoizolace.cz: Foukaná celulózová izolace [kop. 2024-03-12] Zdroj <https://www.ekoizolace.cz/sluzby/foukana-celulozova-izolace/>.....71

Seznam tabulek

Tabulka 1: Produkce odpadů ze sekce CZ-NACE, Český statistický úřad: Produkce, využití a odstranění odpadů - 2022 [kop. 2024-02-28] Zdroj: https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2022	18
Tabulka 2: Porovnání vybraných parametrů výstavby pilotního objektu systémem DEKMATIC, eBETON: Autonomní robotický stavební systém Dekmatic [kop. 2024-04-20] Zdroj: https://www.ebeton.cz/clanky/2022_1_20_autonomni-roboticky-stavebni-system-dekmatic/	34
Tabulka 3: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla z normy ČSN 73 0540 - 2, [kop. 2024-02-28] Zdroj: ČSN 73 0540 – 2	55
Tabulka 4: Posouzení součinitele prostupu tepla obvodové stěny z Porotherm 30 RR Profi Dryfix zateplené tepelnou izolací IsoverEPS 70F, tl. 120 mm v programu Teplo 2017, [kop. 2024-04-04] Zdroj: Autor DP.....	56

Úvod

V dnešní době se technologický vývoj čím dál tím víc zrychluje a inovace zasahují do téměř všech oblastí lidského života, výjimkou není ani stavebnictví. S tím, jak roste potřeba stabilních, odolných a esteticky přijatelných konstrukcí, se stavební průmysl posouvá k progresivním přístupům a moderním technologiím. V této souvislosti hraje klíčovou roli robotizace, která přináší revoluční změny do procesů navrhování a následné výstavby budov.

Zároveň s rozvojem robotického zdění dochází i ke zdokonalování v oblasti tepelných izolací. Moderní tepelně izolační materiály výrazně zlepšují energetickou účinnost budov a podporují snižování nákladů na následný provoz. Kombinace moderních izolačních materiálů s robotickým zděním umožňuje nové přístupy k energeticky efektivním a udržitelným stavbám.

Tato diplomová práce se zaměřuje na technické vlastnosti robotických systémů. Dále zkoumá robotické systémy, které jsou v současnosti na trhu a jejich dopady na produktivitu, kvalitu a udržitelnost stavebních projektů. Zároveň se zaměřuje na pomocné roboty, kteří mohou být prospěšné při výstavbě nových objektů.

Další část diplomové práce se týká vybraných moderních tepelných izolantů. Popisuje jejich technické vlastnosti, jejich výrobu, výhody a nevýhody.

Přístup, který kombinuje robotické zdění s moderními tepelně izolačními materiály, má potenciál výrazně zlepšit energetickou účinnost a udržitelnost budov, což je bezesporu aktuálním tématem v současném stavebnictví.

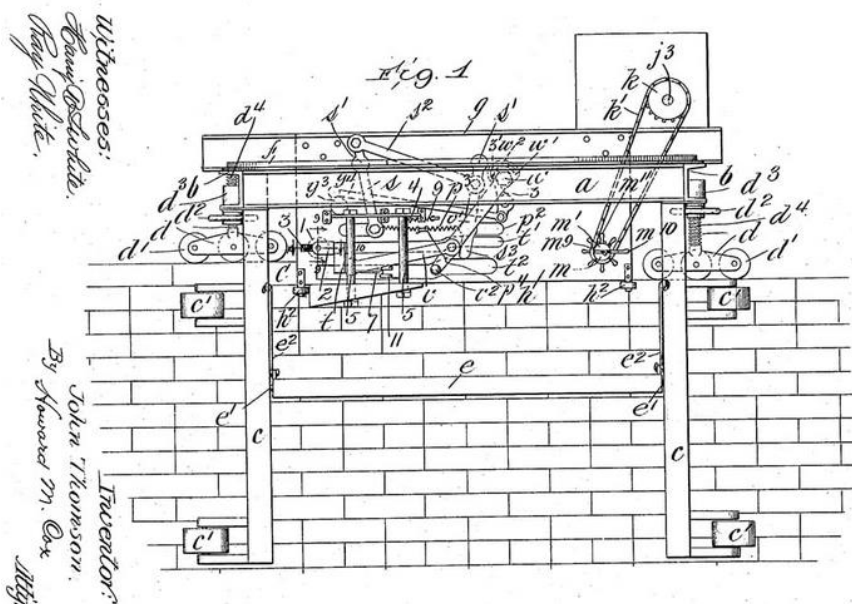
1. Historie

1.1 Historie robotického zdění

Robotické zdění představuje dosud nejmodernější přístup k výstavbě zděných budov. Tato technologie vychází z pokročilé robotiky, která se vyvinula v průběhu 20. a 21. století.

První zdící roboti se začali objevovat už v 60. letech minulého století, kdy byl poprvé na světě spuštěn robot Unimate ve výrobním automobilovém závodě General Motors. ^[1]

První pokus o modernizaci ve stavebnictví a urychlení zdícího procesu však můžeme nalézt již na počátku 20. století. V roce 1904 si John Thomson nechal v USA patentovat první mechanický zednický stroj. Cílem tohoto stroje bylo to samé jako u dnešních zednických robotů, a to především zrychlit stavební práce a zvýšit jejich efektivitu. ^[2]



Obrázek 1: Americký patent z roku 1904 udělený Johnu Thomsonovi na mechanický zednický stroj.

Dalším milníkem v robotickém zdění byl rok 1967. V té době se objevil stroj nazvaný "Motor Mason", který měl schopnost pohybovat se po kolejnicích vedoucích podél stěn, zatímco aplikoval maltu a pokládal cihly. K obsluze tohoto zařízení bylo zapotřebí tří pracovníků: zkušeného zedníka pro kontrolu kvality práce a dva pomocníky, kteří dodávali materiál a umísťovali ho podle potřeby. I když byl tento "motorický zedník" popisován jako technologický pokrok ve starém řemesle a údajně byl pětikrát až desetkrát rychlejší než člověk, neprosadil se. Možná byl příliš neohrabaný a náchylný k poruchám nebo měl problémy se zvládnutím složitějších stavebních úkolů, jako jsou rohy a okna.^[2]



Obrázek 2: Zdící stroj „Motor Mason“ z roku 1967

Během 70. a 80. let minulého století zažilo Japonsko průmyslový boom. V té době narůstaly obavy z nedostatku pracovních sil v důsledku stárnutí populace. Z tohoto důvodu investovalo několik japonských společností, včetně Shimizu Corporation a Takenaka Corporation, do automatizace stavebnictví a robotiky. Tyto společnosti vyvinuly řadu robotů a zařízení na dálkové ovládání. Tyto technologie byly použity v

různých úkolech, včetně manipulace s materiálem, hloubení základů, lití betonu, povrchové úpravy betonu, kladení výztuže, požární ochrany a vnitřní a vnější povrchové úpravy stavebních konstrukcí. Ačkoli mnoho z těchto technologií nebyly společností přijaty, úspěšně převzaly techniky z výroby do praktického využití v konstrukci. [3]

1.2 Historie tepelných izolací

Tepelné izolace hrají klíčovou roli ve vytváření pohodlných a energeticky úsporných prostorů. Historie těchto izolací sahá až do starověkého světa, kde se využívaly přírodní materiály jako například vlna nebo sláma. S průmyslovou revolucí v 19. století vznikly moderní izolační materiály, které postupně vyústily v dnešní širokou škálu efektivních a technologicky vyspělých izolací. Jejich vývoj nejen zvyšuje energetickou efektivitu budov, ale i přispívá k celosvětovým snahám o udržitelný a ekologický přístup k stavebnictví.

Jedny z prvních dobře promyšlených izolačních materiálů byly dřevovláknité nebo lněné panely. Jelikož ale tyto desky byly vyztuženy rabikovou sítí a mechanicky připevněny k povrchu, objemová nestabilita často způsobovala jejich praskání a zhroucení. První továrna na dřevovláknité desky byla založena v Sunbury-on-Thames v Anglii v roce 1898 společností The Patent Impermeable Millboard Company, která vyráběla polotuhé dřevovláknité desky. Moderní dřevovláknitá deska byla vyvinuta a patentována jako Masonite Williamem Masonem v roce 1924, ale MDF ve své současné podobě byla vyvinuta ve Spojených státech až v roce 1965. [4] [5]

Až v první polovině 20. století se díky velké síle chemického průmyslu objevily syntetické materiály. Pěnový polystyren je v současnosti hojně používaným produktem. První polystyrenové izolační desky se však začaly vyrábět a používat až koncem 50. let. [4]

V 70. letech 20. století se objevila minerální vlna, která měla lepší vlastnosti než v té době stávající izolační materiály jako například difuzní odpor či požární bezpečnost. V té době se na území České republiky začaly projevovat nedostatky tepelných vlastností prvních panelových soustav z 50. let minulého století. Původně se využívaly

polystyrenové desky, které se vkládaly přímo do bednění. Kontaktní zateplovací systém se používal až o něco později a to v 80. letech. Tento systém však měl několik nedostatků a to především nízkou kvalitu zateplovacího materiálu a nevhodný způsob lepení, které se provádělo pomocí lepidel na keramické obklady a kotvení, které probíhalo pomocí obyčejných hřebíků. Až v 90. letech, pravděpodobně díky pádu železné opony, se k nám dostaly kvalitnější tepelně izolační materiály ze zahraničí. ^[4]

2. Robotické zdící systémy

2.1 Výhody

Robotické zdění je progresivní přístup k procesu zdění, který nabízí mnoho výhod oproti tradičním manuálním metodám. Jednou z hlavních výhod je vyšší rychlost a efektivita pracovního procesu. Robotické systémy mohou pracovat nepřetržitě bez únavy, což zkracuje dobu potřebnou k dokončení zednického procesu a zvyšuje tak celkovou produktivitu.

Další důležitou výhodou je vysoká přesnost a důslednost práce prováděné robotem. Díky integrované měřicí a snímací technice zajišťuje robotický systém optimální uložení cihel a zlepšuje kvalitu zdiva. Tato přesnost poskytuje velkou jistotu, že bloky byly umístěny správně a odpovídají navrženým specifikacím.

Další důležitou vlastností, kterou robotické zdění nabízí, je bezpečnost. Díky práci v nebezpečných nebo těžko přístupných oblastech mohou roboti snížit riziko pracovních úrazů a ochránit lidské pracovníky před potenciálním nebezpečím. Tím se zlepšují celkové pracovní podmínky a bezpečnost na staveništi.

Stavebnictví je jedním z největších producentů odpadů z průmyslového sektoru. Zdící roboti jsou schopni přesněji využívat tvárnic a tím pádem snížit odpady ze zdění na minimum, což vede i ke snížení nákladů na materiál potřebný k výstavbě.

Tabulka 1: Produkce odpadů ze sekce CZ-NACE

v t

		2017	2018	2019	2020	2021	2022
Produkce odpadů celkem		34 678 892	38 045 213	37 451 454	38 599 888	39 302 696	39 191 940
z toho:	CZ-NACE						
Zemědělství, lesnictví a rybářství	01-03	322 154	409 537	439 858	400 350	424 336	352 752
Těžba a dobývání	05-09	124 821	91 303	92 518	129 865	117 715	100 600
Zpracovatelský průmysl	10-33	5 637 684	5 513 712	5 415 472	4 667 953	4 958 515	4 917 691
Výroba a rozvod elektřiny, plynu, tepla a klimatizovaného vzduchu	35	717 119	550 393	480 106	415 695	371 120	384 830
Zásobování vodou; činnosti související s odpadními vodami, odpady a sanacemi	37-39	4 809 389	5 367 476	4 951 357	6 017 197	4 824 341	5 298 986
Stavebnictví	41-43	13 493 635	15 800 879	15 540 688	16 496 805	17 972 537	17 169 128
Velkoobchod a maloobchod; opravy a údržba motorových vozidel	45-47	1 674 118	1 855 680	1 676 741	1 814 876	1 971 526	2 188 078
Doprava a skladování	49-53	743 290	1 079 431	1 167 969	991 457	1 079 488	1 206 227
Ubytování, stravování a pohostinství	55-56	136 572	158 509	152 605	156 305	110 908	151 859
Informační a komunikační činnosti	58-63	25 740	22 810	30 213	22 146	23 527	26 525
Peněžnictví a pojišťovnictví	64-66	11 188	21 784	31 093	19 332	27 802	11 688
Činnosti v oblasti nemovitostí	68	473 472	321 237	379 958	283 300	327 166	401 955
Profesní, vědecké a technické činnosti	69-75	352 319	517 798	542 947	598 241	363 880	508 037
Administrativní a podpůrné činnosti	77-82	216 540	216 855	216 192	192 123	152 442	140 028
Veřejná správa a obrana; povinné sociální zabezpečení	84	5 744 007	6 006 929	6 042 649	6 108 498	6 296 781	5 987 726
z toho:							
obce		4 115 645	4 241 128	4 289 124	4 532 244	4 564 520	4 310 993
Vzdělávání	85	90 415	91 224	90 097	70 859	59 888	71 215
Zdravotní a sociální péče	86-88	117 897	135 827	117 183	118 489	123 040	139 646
Kulturní, zábavní a rekreační činnosti	90-93	45 230	38 534	40 270	39 558	32 750	43 103
Ostatní činnosti	94-96	39 715	39 947	35 387	33 588	28 069	31 387

2.2 Nevýhody

Jednou z hlavních nevýhod zdících robotů je vysoká počáteční investice. Na nákup, instalaci a zaškolení personálu potřebného k obsluze nástěnného robota je zapotřebí velké množství peněz. Společnosti si však často mohou systémy určitým způsobem pronajmout a zajistit zkušené operátory, což tuto nevýhodu eliminuje.

Další potenciální nevýhodou je technická údržba. Robotické systémy vyžadují pravidelnou údržbu a opravy a problémy během stavebních prací mohou zdržovat pracovní proces. Proto jsou zapotřebí dobře vyškolení technici, kteří technické problémy rychle a efektivně vyřeší.

Problémem může být také závislost na elektrické energii. Výpadky proudu nebo jiné problémy s napájením mohou přerušit pracovní proces, což může mít negativní dopad na celkový harmonogram projektu. Některé společnosti řeší tuto nevýhodu použitím akumulátorů nebo generátorů pro pohon zdících robotů.

Navíc schopnost robotických systémů přizpůsobit se nepředvídatelným podmínkám může být omezená. Pokud jsou naprogramovány podle předem daných pokynů, mohou nepředvídané události nebo změny pracovního prostředí vyžadovat zásah člověka.

Další nevýhodou je omezená manévrovatelnost v terénu. Velká a těžká robotická zařízení mohou mít omezenou pohyblivost, zejména v nerovném nebo složitém terénu. Pro plné využití potenciálu těchto strojů proto může být nezbytné pečlivé plánování a organizace pracovního prostoru.

Při své činnosti je robot nucen se pohybovat podél stavěné stěny vzhledem k omezené délce ramena. V případě výstavby vícepatrových budov je zapotřebí robota přesunout do vyšších pater a tím pádem počítat s přidaným zatížením od robota, což je nutné zohlednit při návrhu samotné stropní konstrukce a její nosnosti. Například zdící robot SAM od Construction Robotics váží přibližně 1 500 kg a zdící robot od Wienerbergeru váží dokonce 2 500 kg. To stejné se týká zdícího materiálu. Zdící roboti dokážou fungovat velice rychle. Je tedy potřeba zajistit dostatečný počet palet s vyzdívaným materiálem, který pochopitelně vyvozuje další dodatečné zatížení, se kterým je potřeba počítat. ^{[6] [20]}

Zdící robot od Wienerbergeru má v současnosti délku 3,4 m a šířku 0,78 m, jedná se tedy o plochu přibližně 2,65 m². Zatížení na stropní konstrukci v případě, že je na ní umístěn robot, lze spočítat jako sílu, kterou robot působí na daný strop. Tato síla je způsobena gravitací a vypočítá se podle následujícího vzorce:

$$F = m * g \text{ [N]}$$

Uvažujeme-li zdícího robota od Wienerbergeru, musíme uvažovat s hmotností 2 500 kg. Zároveň gravitační zrychlení g má hodnotu 9,81 m/s². To znamená, že zatížení na stropní konstrukci od samotného robota bude 24,525 kN. Zároveň se jedná o dynamické zatížení, které má na konstrukce větší účinek, jelikož způsobuje vibrace a nárazy.

Jak již bylo zmíněno, roboti pracují rychle a zastanou několikačlennou skupinu pracovníku. Je tedy zapotřebí zajistit kontinuální přísun materiálu a vymezit pro něj místo na staveništi, což může být logisticky náročné.

V neposlední řadě je třeba zdůraznit, že robotické systémy alespoň prozatím nemohou zcela nahradit lidskou kreativitu a manuální zručnost. Některé projekty, zejména ty, které vyžadují umělecký přístup, mohou stále vyžadovat lidský zásah.

2.3 Příklady robotických zdících systémů

2.3.1 SAM

Prvním vybraným zdícím robotem je SAM (Semi-Automated Mason). Jde o revoluční nástroj ve stavebnictví, který kombinuje technologické inovace s potřebami moderního stavebnictví. SAM představuje technologický milník ve zdění, při kterém se přesná robotika a inteligentní algoritmy spojily a vytvářily tak efektivní a spolehlivá řešení pro rychlé a vysoce kvalitní stavební práce.

Tohoto zdícího robota vyvinula firma Construction Robotics sídlící v USA. Společnost Construction Robotics byla založena v roce 2008 Natem Podkaminerem a Scottem Petersem.^[7]

SAM100 je robot používaný na stavbách jako pomocník při zednických pracích. Jeho účelem je usnadnit namáhavou práci při zvedání a pokládání cihel a umožnit zedníkům pracovat 3 – 5krát efektivněji. Kromě toho robot výrazně snižuje počet potřebných zdvihů o více než 80 %. Jeho účelem není nahradit stavební dělníky, ale zlepšit jejich dovednosti a minimalizovat jejich zdravotní a bezpečnostní rizika. SAM pomáhá při zvedání a ukládání cihel a s nanášením malty, zatímco jeho lidský partner zlepšuje estetické aspekty zednických prací. SAM100 zvládá opakující se úkoly, přičemž je schopen se přizpůsobit potencionálním odchylkám na staveništi a rozlišovat mezi teoretickými návrhy a skutečnými podmínkami dané stavby.^{[8] [9]}

Robot SAM100 dokáže položit až 3000 cihel za den a díky tomu může být výstavba objektu šestkrát rychlejší, než stavba samotnými pracovníky. Je schopen sbírat cihly, nanášet maltu a pokládat cihly na zeď. Vedle robota je přítomen zedník, který zajišťuje vyhlazení přebytečné malty. ^[10]

Tento poloautomatický zdící robot byl představen trhu v roce 2015 a to konkrétně na veletrhu World of Concrete, kde získal cenu The Most Innovative Product Industry Choice Award. ^[8]

Mezi výhody SAM se řadí větší přesnost při nižších nákladech, kde úspory na práci přesahují 50 %, dále 3 – 5 násobné zvýšení výkonu, zatímco pracovníci se mohou soustředit na kvalitu zdění, menší dopad na zdraví a bezpečnost pracovníků, vyšší schopnost konzistentně provádět zakázky a v neposlední řadě získané údaje o výkonnosti přispívají k neustálému zlepšování robotického systému. ^[11]



Obrázek 3: Zdící robot SAM100 společnosti Construction Robotics

2.3.2 HADRIAN X

Hadrian X je autonomní stavební robot vyvinutý společností Fastbrick Robotics sídlící v High Wycombe v Austrálii, který dokáže stavět konstrukce zdí s minimálním

zásahem člověka. Robot kombinuje pokročilou robotiku s plánovacími algoritmy umělé inteligence a efektivně staví zdi z cihel. Hadrian X je schopen nepřetržitého provozu a nabízí vysokou přesnost a rychlost výstavby.

V roce 1994 přišel Mark Pivac s myšlenkou mobilního dynamického stabilizačního robota. Jednalo se o vysoce přesný systém, který plynule upravlal polohu konce robotického ramene. O jedenáct let později, v roce 2005, požádal o patent na automatický systém pro stavbu zdí a sestrojil první prototyp robota Hadrian. Po úspěšné demonstraci stavění zdí pomocí pozemních robotů byl systém Hadrian 105 uveden do výroby. Částečně kvůli celosvětové finanční krizi se podařilo postavit první konstrukci bez lidského zásahu na základě 3D počítačového návrhu až v roce 2016. [12]



Obrázek 4: Hadrian 105 společnosti Fastbrick Robotics

V roce 2018 společnost FBR dokončila mechanickou montáž prvního stroje Hadrian X a demonstrovala, že dokáže postavit dům za tři dny. V následujícím roce stroj dosáhl důležitých milníků a to dokončení prvního domu pod širým nebem a zároveň společnost

FBR zahájila stavbu druhého stroje Hadrian X. V roce 2019 dosáhl stroj Hadrian X rychlosti pokládky více než 200 bloků za hodinu a dokončil svůj první dvoupodlažní dům. V roce 2023 pak robot Hadrian X nové generace vytvořil nový rekord v rychlosti pokládky. Dokázal položit více než 300 bloků za hodinu. [12]

Společnost FBR v průběhu svého působení navázala spolupráci mimo jiné se společnostmi Xella a Wienerberger. [12]



Obrázek 5: Hadrian X společnosti Fastbrick Robotics

Zdící roboti jsou využíváni převážně v exteriéru, kde jsou vystaveni nepředvídatelným a neustále se měnícím rušivým vlivům, jako jsou vítr, vibrace, měnící se pohyby strojů a tepelné změny. Z tohoto důvodu Hadrian X využívá DST®. Dynamická stabilizační technologie® je vysoce přesný systém, který průběžně upravuje polohu konce robotické paže robota tak, aby byl vždy stabilně držen ve správném bodě 3D prostoru. [13]

Nová generace systému Hadrian X dokáže položit 500 bloků za hodinu, což odpovídá až 120 m² za hodinu, a je schopný dokončit vnější a vnitřní stěny standardního domu z cihel za jeden den. Teleskopické rameno o délce 32 m má delší dosah než

předchozí model a umožňuje zdění zdí až do výšky tří podlaží. Stroj zároveň dokáže umístit bloky do vzdálenosti 50 mm od stávající zdi. ^[14]

Hadrian X dokáže pokládat bloky ze všech běžně používaných materiálů a zároveň je navržen tak, aby zvládl manipulaci s bloky o maximálních rozměrech 600 x 400 x 300 mm a maximální hmotnosti 45 kg. Primárně ale robot používá bloky se zarovnanými jádry a modulární konstrukcí, což usnadňuje vedení kabelů pomocí dutin. Při montáži se na každý blok nanáší speciální stavební lepidlo, které vytvrdne přibližně za 45 minut a je mnohem pevnější než běžná malta. To umožňuje průběžnou a rychlou montáž bez čekání na zaschnutí malty. ^{[14] [15] [16]}

Hadrian X je autonomní stavební robot, ale i přesto vyžaduje na staveništi tým dvou až tří lidí, kteří dohlížejí na počáteční stavební plán, průzkum staveniště, provozní aspekty stroje a řešení problémů. ^[15]

Vzhledem k tomu, že robot Hadrian X staví pomocí modelu CAD, tak přesně ví, kolik bloků použije a může je podle potřeby řezat na různé délky pro pozdější použití při stavbě. To výrazně snižuje produkci odpadu na stavbě a zároveň snižuje náklady na nadměrné objednávání materiálu nebo odvoz odpadu. ^[15]

2.3.3 In-Situ Fabricator

Laboratoř digitální výroby v Curychu, která spadá pod Národní výzkumné centrum ve Švýcarsku, představila v roce 2015 autonomního stavebního robota s názvem In situ Fabricator. Jedná se, jako v předchozích případech o robotickou paži, která dokáže podle předem zadaného plánu pokládat jednotlivé komponenty na určité místo. Výhoda tohoto robota je zdění prvků, které nemusí být založeno na pravidelnosti. Respektive je tento robot schopen zdít stěny, které jsou atypických půdorysů, například stěny kruhových půdorysů. Vzhledem k tomu, že se pohybuje na kolejových pásech, dokáže tak pracovat v náročných terénech, což může být taktéž výhodou. ^{[17] [18]}

In situ Fabricator se dá využívat nejenom jako robot pro zdění, ale zároveň ho lze použít pro vytváření 3D síťových struktur, které budou následně sloužit jako bednění a

výztuž konstrukcí. Jedná se o technologii Mesh Mould, při které robot aplikuje jednotlivé dráty v horizontálním i vertikálním směru. Dokáže jednotlivé ocelové dráty svařit, ohýbat podle potřeby a tak vytvářet zakřivené 3D sítě. ^[19]



Obrázek 6: Mobilní robot In-situ Fabricator při zdění

2.3.4 Wienerberger

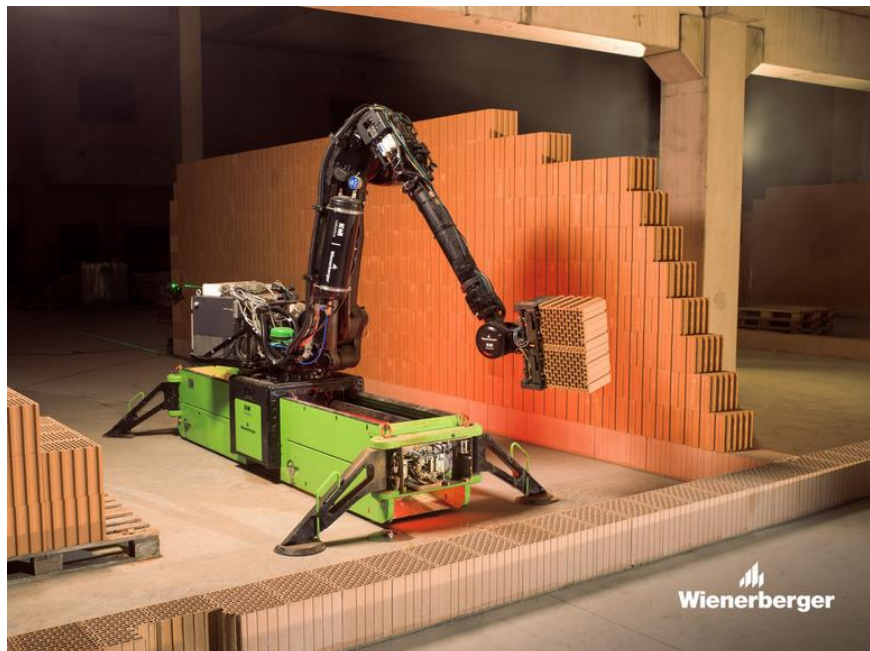
Wienerberger je přední světový výrobce stavebních materiálů s dlouholetou historií inovací a technologického pokroku. Jedním z jeho nejnovějších a nejefektivnějších produktů je zdící robot.

Tohoto robota společnost představila v červnu 2023 v eXperience centru Jirčany a následně v říjnu 2023 již při stavbě reálné stavby, kdy započala výstavba haly průmyslového závodu společnosti Dormer Pramet s.r.o., ve spolupráci se stavební firmou Gemo a.s., v Šumperku. Práce tohoto robota bylo zdění výplňového zdiva v interiéru haly. Měl na práci vystavět dlouhé rovné stěny s minimem otvorů a minimem zalomení. Což byly v té době pro něho skvělé podmínky, které vedly k co nejefektivnější

práci. Zároveň se jednalo o úkon vykonávaný pod střechou, tím pádem na něj nepůsobily žádné klimatické jevy, jako je vítr či déšť. [20] [21] [22] [23]

Zároveň si již robot vyzkoušel práci v exteriéru. Konkrétně se jednalo o zdění administrativní budovy navržené k rámci projektu výstavby dálnice D4. Při samotné práci byl robot vystavován klimatickým jevům, jako je vítr, či déšť a venkovní teploty klesaly až k 5 °C. [20]

Byť se jedná o zdícího robota prezentovaného společností Wienerberger, na jeho počátku stála společnost KM Robotics. První myšlenky sestavit zdícího robota padly již v roce 2008, kdy započala velká ekonomická krize a Štěpán Kočí, majitel KM Robotics, uvažoval, jak zefektivnit stavební odvětví. Dále se k vývoji připojili další společnosti a instituce. Konkrétně se jednalo o Creative Dock, CIIRC ČVUT (Czech Institute of Informatics, Robotics and Cybernetics) a v neposlední řadě TA ČR, neboli Technologická agentura České republiky. [20] [21] [22] [23]



Obrázek 7: Zdící robot společnosti Wienerberger

Zdící robot Wienerberger nemá za účel nahradit v plné míře lidské pracovníky. Má za úkol stát se prospěšným pomocníkem na stavbě, který díky svým vlastnostem zefektivní samotnou výstavbu zděných stěn.

Mezi jeho hlavní výhody patří přesnost a konzistentnost práce. Každá cihla je díky robotovi uložena tak, jak je v projektové dokumentaci specifikována, vzhledem k rozměrovým tolerancím. ^[20]

Další výhodou je zvýšení produktivity. Robot se nikdy neunaví, jeho rychlost zdění je stejná i po 8 hodin práce či v nižších nebo vyšších řadách zdiva. Zároveň na něj nemají vliv klimatické podmínky v takové míře, jako u člověka. Optimální teplotní podmínky pro výkon robota jsou v rozmezích 5 – 40 °C ^{[20] [22]}

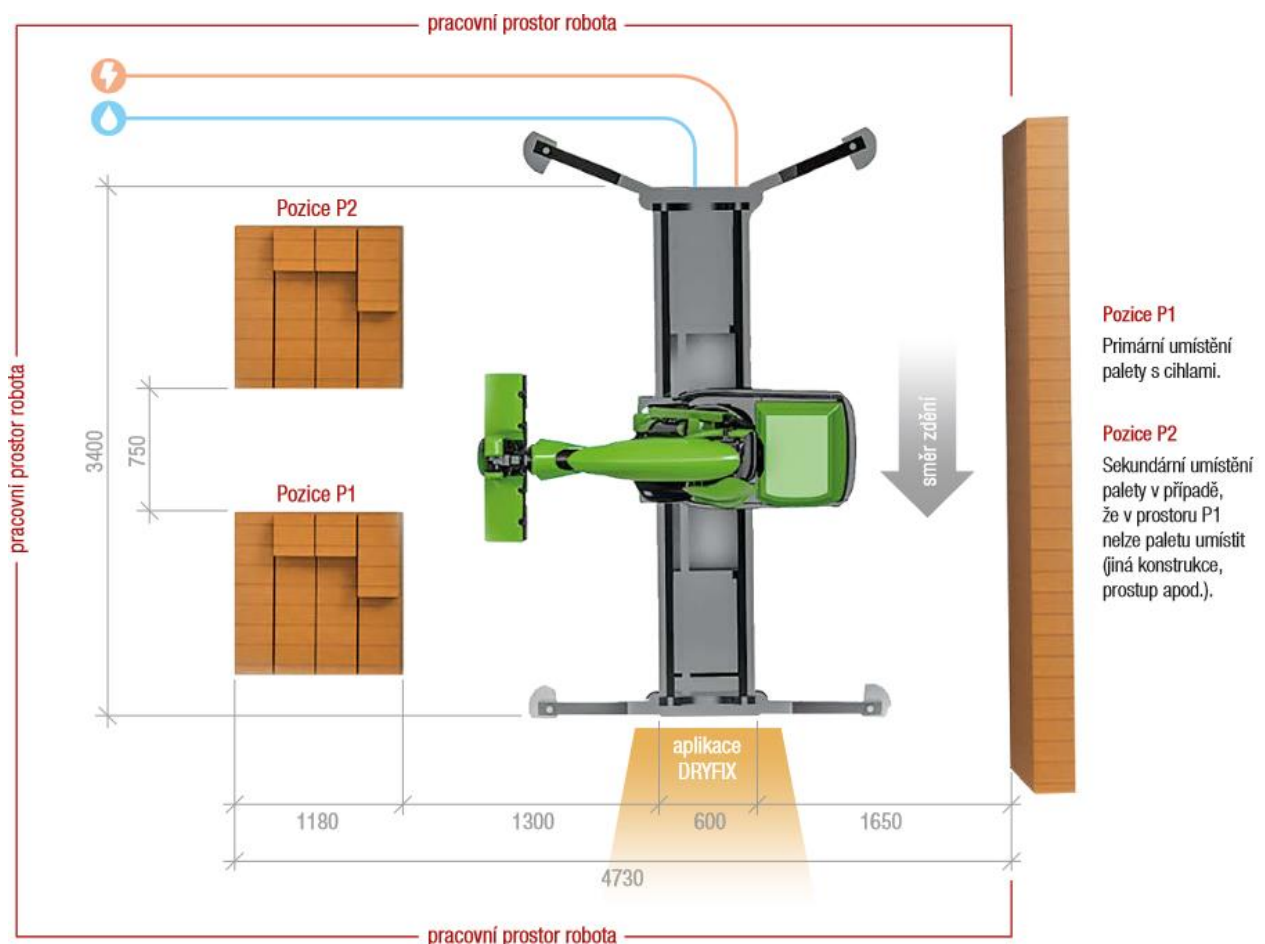
Robot je schopný zastat práci až 5 lidí. Jelikož zdící robot ještě není tolik zaběhnutý v praxi, nejsou tedy k dispozici podrobné údaje z hlediska finanční analýzy. Wienerberger ale počítá s tím, že robot nebude pronajímán jako takový, ale investor zaplatí za pokládku daného počtu metrů čtverečních zdiva. Cíl je tedy takový, aby metr čtvereční zdiva položený robotem nebyl dražší, než metr čtvereční vystavěný běžnou pracovní četou. To znamená, že využití robota možná nebude levnější, ale rozhodně se ušetří čas, který by byl na výstavbu potřeba. Zároveň ale dokáže optimalizovat stavební materiál. Tato vlastnost přispívá k minimalizaci odpadů, což logicky vede ke snížení nákladů na stavbu. ^[20]

Nejdůležitějším aspektem při práci na stavbách je bezpečnost. Díky využití zdícího robota se zvyšuje bezpečnost pracovníků. Software je naprogramovaný tak, aby robot předcházel chybovosti a eliminovalo se tak lidské selhání, které vede k nejrůznějším úrazům na staveništi. Zároveň disponuje řadou čidel, které v průběhu práce kontrolují okolí a v případě potřeby jsou schopny proces zdění přerušit. ^[20]

Zároveň je díky svým sensorům schopný rozpoznat poškozenou cihlu a tím pádem ji při samotném zdění nepoužít. ^[20]

V současné době je na stavbách využíván model zdícího robota V1. Jedná se o první funkční prototyp, u kterého se vývojáři zaměřovali pochopitelně na funkčnost a nehtedli tolik na vzhled, proto jsou v podstatě odhaleny řídicí komponenty robota. S vývojem dalších modelů se počítá s kapotáží, kdy veškeré vnitřní části robota již budou skryta. [20]

Využití robota je nutné zohlednit již při samotném návrhu stavby, ve fázi projektové přípravy či samotné studie. Robot při své práci potřebuje určitý manipulační prostor, který je potřeba dodržet a zajistit mu tak podmínky k plynulé práci. Zároveň je potřeba uvažovat s robotem při zařízení staveniště. Robota je nutné napájet elektrickou energií ze sítě, nedisponuje baterií a zároveň je potřeba mu dodat přísun vody. [20]



Obrázek 8: Poloha zdícího robota Wienerberger a poloha palet s cihlami vůči vyzdívané stěně

Nejedná se o autonomního robota, který by byl schopný pracovat od počátku samostatně. Je zapotřebí jednoho řídicího pracovníka, který bude pomocí software robotovi zadávat základní informace o konstrukcích týkajících se rozměrů, a jednoho pracovníka, který se stará o zásobování robota materiálem a zajišťování drobných zednických prací. V podstatě má za úkol umístit paletu s cihlami na požadované místo, odvést prázdnou paletu a zajišťovat dořezy cihel či aplikovat kotevní spony u napojování stěn. Zároveň je potřeba určitým způsobem připravit vyzdívání stěny. Konkrétně se jedná o založení první řady zdiva manuálně. Je to z toho důvodu, že robot využívá pro zdění zdící pěnu. Nedokáže tedy aplikovat maltové lože, do kterého se první řada zdiva pokládá, kvůli vyrovnaní nerovností základové desky. Pro tuto práci je tedy extrémně důležité využít zkušeného pracovníka, který první řadu cihel vytvoří s dokonalou přesností. ^[20]

Zdící robot Wienerberger je stále ve vývoji. Momentálně je schopný zdít stěny až do výšky 3,25 m. Společnost plánuje tuto výšku navýšit a to až na hodnotu 5 m. Toto navýšení by bylo dosaženo vložením přídatného modulu mezi základnu robota a jeho rameno. ^[20]

Při výstavbě ideální stěny, což z pohledu robota je stěna rovná a bez otvorů, může rychlost výstavby dosahovat až 10 m²/hod. V praxi se jedná pochopitelně o výjimečné případy. Průměrně je tedy robot schopen pracovat s rychlostí 7,5 m²/hod. ^[20]

V současné době se jedná o relativně těžký stroj, váží 2 500 kg. Společnost ale počítá s vývojem i v této oblasti a má za cíl odlehčit robota, aby nebyl zbytečnou zátěží při výstavbě. Co se rozměrových specifikací týká ve složeném stavu má robot délku 3,4 m, výšku 2,15 m a šířku 0,78 m. ^[20]

Výhodou tohoto robota je jeho samostatná mobilita během vyzdívání. V případě, že je potřeba se posunout, robot je schopný se zvednout na své střední části a podsunout základu dále, kde ji následně spustí a opět se ukotví pomocí bočních nohou. ^[20]



Obrázek 9: Autonomní pohyb zdícího robota Wienerberger podél vyzdívané stěny

Wienerberger během vývoje zdícího robota přišel i s novou řadou cihel značky Porotherm. Pro svou práci potřebuje robot speciální cihly, které v sobě mají drážky, za které je robot schopen cihly uchopit. Proto Wienerberger vytvořil cihly řady RR, tzv. Robot Ready. Momentálně jsou k dostání broušené cihly Porotherm 30 RR Profi Dryfix o tloušťce 300 mm. Mají stejné požární, statické i akustické vlastnosti jako běžné cihly Porotherm 30 Profi, s tím rozdílem, že mají navíc výše zmiňované drážky. V červenci roku 2024 by měly být k dostání i cihly Porotherm 24 RR Profi Dryfix o tloušťce 240 mm a v lednu roku 2025 budou dostupné cihly Porotherm 19 AKU RR Profi Dryfix s pevností P15. Cihly Porotherm 30 RR Profi Dryfix i Porotherm 24 RR Profi Dryfix budou k dostání v pevnostech P10 a P15. Zároveň společnost plánuje vyrábět cihly dalších tloušťkách, aby se mohl zaměřit na větší rozsah staveb. [20] [23]

Co se pojiva týká, momentálně robot využívá pěnu Dryfix ve dvou pruzích. Vzhledem k tomu, že může pracovat i v exteriéru, kde musí například odolávat povětrnostním vlivům, je momentálně ve vývoji varianta celoplošného nástřiku. Opět kvůli rozšíření portfolia, společnost počítá i s variantou zdění za pomoci tenkovrstvé malty. [20]



Obrázek 10: Cihla Porotherm 30 RR Profi Dryfix

V současnosti se robot zaměřuje na výstavbu výplňového zdiva hal, či na výstavbu administrativních budov, prodejních prostor či průmyslových závodů. Do budoucna je plánovaná výstavba bytových domů a rodinných domů. [20]

2.3.5 DEKMATIC

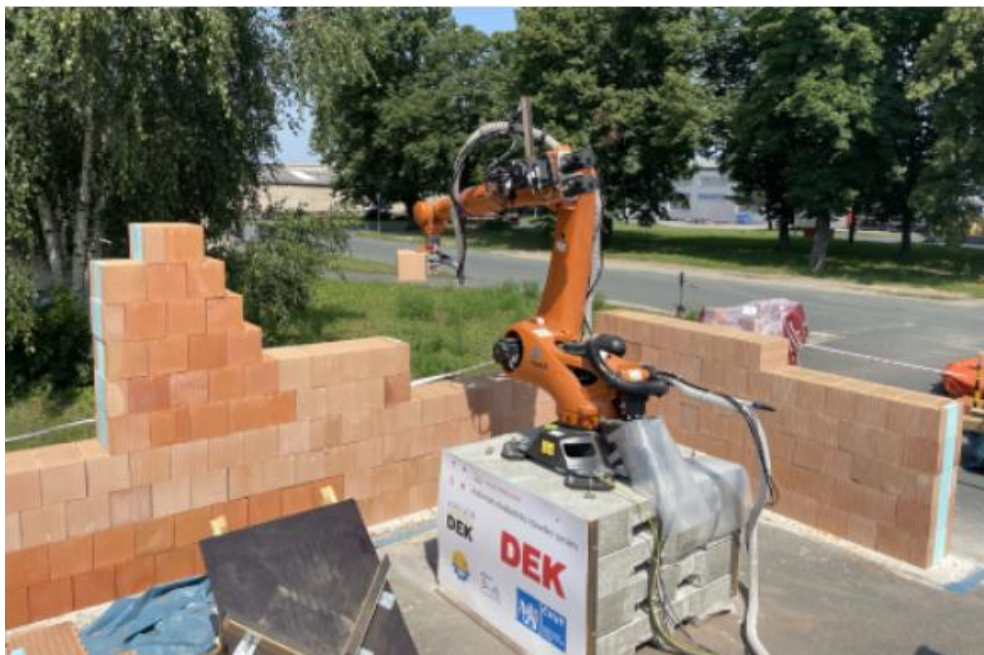
V září 2021 byla dokončena první fáze vývoje technologie DEKMATIC pro automatickou konstrukci stěn na staveništi. Tato technologie umožňuje jak robotické zdění, tak 3D tisk a to díky pouhé výměně koncového zařízení na robotovi. [24]

Jedná se prozatím o pilotní projekt, za kterým stojí výzkumný tým ateliéru DEK a Katedra technologie staveb ČVUT v Praze. Přestože tento robot je unikátní v tom, že kombinuje dva typy výstavby budov, je potřeba obě dovednosti značně vylepšit v dalších částech vývoje. [24] [25] [26]

Robot pracuje, jak při robotickém zdění, tak při 3D tisku, podle programu, který pracuje s informacemi z prostorového modelu v 3D softwaru. Pro převod těchto informací na instrukce pro robota vyvinula Katedra technologie staveb ČVUT svůj vlastní konvertor. Vytvořený software je schopen analyzovat vertikální konstrukci hrubé stavby na základě IFC souboru exportovaného z BIM modelu budovy. Dokáže identifikovat

definované konstrukční detaily a do nich vložit standardní vnitřní geometrii stěn. Díky parametrizaci vytvoří spojitou trajektorii tisku, která je exportována ve formě zdrojového kódu. Tento kód je poté použit k vytisknutí modelované konstrukce pomocí tiskárny. Tento software pracuje na stejném principu i pro robotické zdění. Na základě IFC exportu je možné generovat kladečský plán cihel opět ve formátu zdrojového kódu. [26]

Obsluhu stroje dokážou zastat pracovníci se standardním stavebním vzděláním, není tedy potřeba speciálně vyškolený programátor. Jedná se o autonomního robota, který během výstavby v podstatě vyžaduje pouze doplňování materiálu, se kterým momentálně pracuje a obsluhu. [26] [27]



Obrázek 11: Autonomní robotický stavební systém společnosti DEK

Testování robota probíhalo na jednopodlažní stavbě o půdorysných rozměrech 10 x 10 m a výšky 2,75 m. Jelikož bylo zapotřebí vyzkoušet jak robotické zdění, tak 3D tisk, byla navržena stavba osově souměrná. Původně byla pro testování používána robotická ruka Agilus od společnosti KUKA. Jelikož ale nedosahuje potřebné vzdálenosti, bylo

zapotřebí nahradit ji robotickou paží KR Quantec ultra R3900 rovněž od společnosti KUKA, která již má dosah téměř 3,90 m. ^{[25] [26] [27]}

Jelikož je systém Dekmatic ve vývoji, výzkumný tým a technici se prozatím nezaměřili na jeho mobilitu. Při testovací výstavbě byl tedy umístěn na podstavec, díky kterému byl robot zároveň stabilizován a v případě potřeby byl jednoduše pomocí vysokozdvizného vozíku přemístěn. ^[25]

Na počátku výstavby bylo zapotřebí kalibrovat systém, aby budované konstrukce byly zhotoveny ve svislé rovině a zároveň při každém přesunu byla potřeba nová kalibrace z toho důvodu, aby byl robot schopen navázat na již vystavěné konstrukce. ^[25]

Robotické rameno Quantec se běžně využívá se strojním průmyslu, kde je zvykem pracovat s přesností na setiny milimetru i více. Jednou z překážek, které pilotní testování odhalilo je využívání rozměrových tolerancí udávaných výrobcem keramických tvárnic, se kterými si prvotně robot nedokázal poradit, a bylo potřeba je na tyto odchylky nakonfigurovat. Při variantě robotického zdění se na konec robotické upevnil griper, který je schopný vynést břemeno o váze až 120 kg, má možnost uchopit i profilované cihly a zároveň je určený pro aplikaci lepidla pro zdění. ^{[25] [27]}

Pro 3D tisk byla pro pilotní fázi využita cementová malta. Pro 3D tisk hrubé stavby domu bylo zapotřebí robotické ruky s tryskou na konci, kontinuální míchačky, šnekového čerpadla a zásobníku suché maltové směsi. Tisk probíhal v automatickém režimu pod otevřeným nebem, stejně jako tomu bylo u robotického zdění. Během procesu se sledovala kvalita připravované malty, výstup z trysky a činnost robota. Systém byl schopen provozu bez přerušení po několik hodin. Bylo pouze zapotřebí doplňovat potřebné suroviny. Stěny byly tvořeny vrstvou po vrstvě podle unikátní nekonečné omega-smyčky, což umožňovalo vytvořit libovolný půdorys stěny v jednom záběru včetně konstrukčních detailů a minimalizovat tak potřebu přerušení výstupu z trysky. Jednotlivé vrstvy pak měly tloušťku přibližně 10 – 15 mm. ^{[25] [27]}

Pochopitelně během pilotního testování probíhal sběr dat, aby bylo možné porovnat jednotlivé technologie v reálném provozu. K dispozici jsou následující vybrané parametry výstavby pilotního objektu.

Tabulka 2: Porovnání vybraných parametrů výstavby pilotního objektu systémem DEKMATIC

Parametr	3D tisk	Robotické zdění
čistý čas	11 h	6 h
plocha stěn	58 m ²	45 m ²
rychlost výstavby	5,5 m ² /hod	8 m ² /hod
množství materiálu	12 t suché maltové směsi	618 ks cihel
cena materiálu na m ² konstrukce	3 500 Kč	1 500 Kč
odpad	1 % (náběh a proplach systému)	5 až 7 % (rozbité cihly na paletě z výroby)

omezení počasí	bez zvláštních opatření: bez deště do 30 min po ukončení tisku, teplota v rozmezí 5 až 35 °C, vítr do 10 m/s	
tvarová omezení půdorysu	bez omezení	pravoúhlé konstrukce
specifika	– chybějící standardy pro posouzení konstrukce— nutnost technologických přestávek při tisku sloupů a pilířů (z důvodu rychlého nárůstu výšky konstrukce)	– nutno respektovat modul a sortiment doplňkových cihel— vysoké rozměrové tolerance cihel způsobují imperfektní konstrukce

2.4 Zhodnocení robotických zdících systémů

Zdící roboti SAM, Hadrian X, In-Situ Fabricator, Wienerberger a DEKMATIC představují různé přístupy k automatizaci stavebních procesů, každý s vlastními výhodami a nevýhodami.

SAM (Semi-Automated Mason), vyvinutý firmou Construction Robotics, se zaměřuje na zefektivnění a zjednodušení zdění. Mezi hlavní výhody patří výrazné zvýšení efektivity práce, přičemž SAM dokáže položit až 3000 cihel za den. Robot také snižuje

fyzickou námahu pracovníků o více než 80 %, čímž minimalizuje zdravotní a bezpečnostní rizika. SAM nefunguje samostatně, ale ve spolupráci se zedníkem, který dokončuje estetické úpravy zdiva. To znamená, že plně autonomní provoz není možný, což může být jistou nevýhodou tohoto stroje.

Hadrian X, autonomní robot od společnosti Fastbrick Robotics, je schopen stavět zdi s minimálním zásahem člověka. Využívá pokročilé plánovací algoritmy a dynamickou stabilizační technologii (DST®), která zajišťuje vysokou přesnost i za nepříznivých podmínek. Hadrian X dokáže položit až 500 bloků za hodinu a postavit standardní dům za jediný den. Významnou výhodou je schopnost pracovat nepřetržitě, což zvyšuje rychlost výstavby. Další předností je minimalizace odpadu díky přesnému počítání a řezání bloků podle CAD modelu. Nevýhodou je opět nutnost podpůrného týmu, který dohlíží na provoz a řeší případné problémy.

In-Situ Fabricator od laboratoře digitální výroby v Curychu vyniká svou flexibilitou a schopností pracovat v náročných terénech díky pohybu na kolejových pásech. Tento robot je schopen vytvářet nejen tradiční zdivo, ale i složité 3D síťové struktury pomocí technologie Mesh Mould. Výhodou je možnost zdít atypické tvary, jako jsou kruhové stěny, což rozšiřuje jeho využití. Nevýhodou může být jeho specializace na specifické úkoly, což může omezit jeho univerzálnost v běžných stavebních projektech.

Robot Wienerberger, vyvinutý ve spolupráci s KM Robotics a dalšími institucemi, se zaměřuje na přesnost a konzistentnost práce. Schopen zdít stěny do výšky až 3,25 m, tento robot pracuje s cihlami se speciálními drážkami pro optimální uchopení a pokládku. Jeho hlavní výhody zahrnují vysokou produktivitu a přesnost, schopnost pracovat za různých klimatických podmínek a zvýšení bezpečnosti na staveništi. Nevýhodou je nutnost přípravy stavby pro jeho využití a potřeba lidské obsluhy pro určité fáze práce, například zakládání první řady zdiva.

DEKMATIC, technologie vyvinutá ateliérem DEK a ČVUT, kombinuje robotické zdění a 3D tisk. Tento systém nabízí vysokou flexibilitu díky možnosti rychlé výměny koncového zařízení. Výhodou je jeho schopnost pracovat autonomně na základě

prostorového modelu z BIM softwaru, což umožňuje přesné plánování a realizaci staveb. Nevýhodou je jeho současná fáze vývoje, která vyžaduje další vylepšení, zejména pokud jde o mobilitu a kalibraci systému při přesunu.

Každý z těchto robotů přináší inovativní řešení do stavebnictví, přičemž se zaměřuje na různé aspekty efektivity, přesnosti a adaptability. Zatímco některé systémy vyžadují určitou úroveň lidského dohledu a podpory, jiné směřují k plné autonomii, což ukazuje na širokou škálu možností, jak může automatizace přispět k modernizaci stavebních procesů.

3. Pomocní roboti ve stavebnictví

3.1 Příklady pomocných robotů

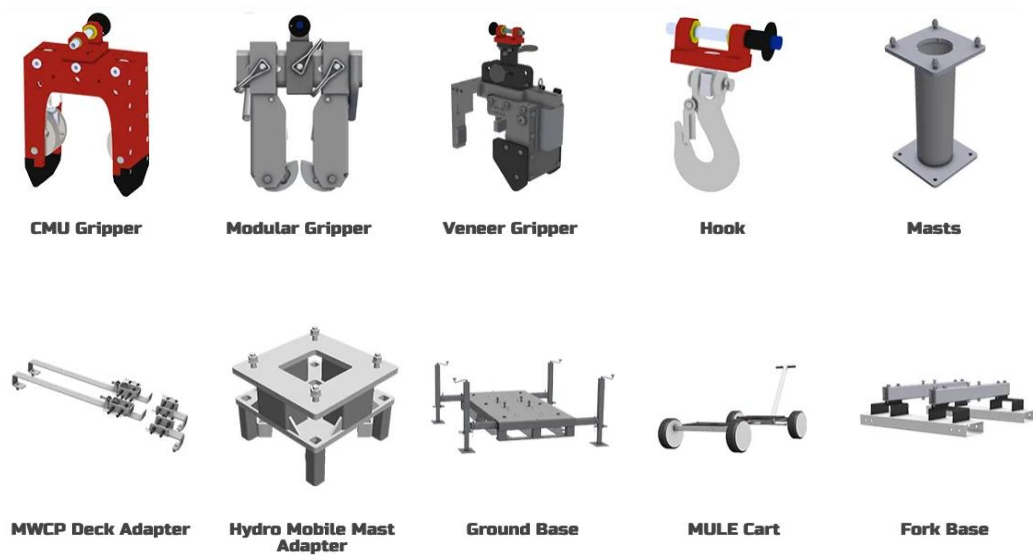
3.1.1 MULE

Dalšími produkty společnosti Construction Robotics jsou zdvihací asistenti řady MULE. Jedná se konkrétně o MULE ML150 a MULE MZ100.

Stroje řady MULE (Material Unit Lift Enhancer) jsou pomocná zvedací zařízení navržená a vyrobená pro přesun těžkých břemen na staveništi. Rozdíl mezi řadou ML150 a MZ100 je ve způsobu napájení a v maximální nosnosti strojů. ^[28]

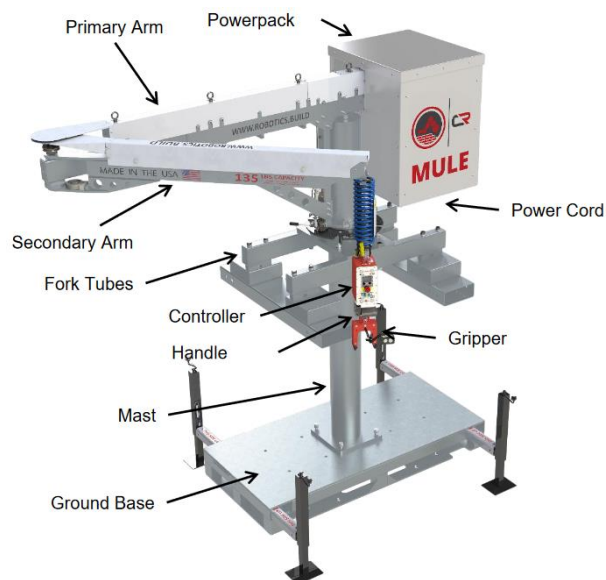
MULE ML150 je pracovní nástroj, který pomáhá při zvedání a polohování komponentů či materiálů o hmotnosti až 150 lbs (~ 68 kg) do výšky až 11 stop (~ 3,35 m). ^[29]

Nespornou výhodou tohoto zařízení je poměrně velký soubor komponentů, kterými se dá přístroj modifikovat dle konkrétních požadavků. Jedná se například o rozdílné typy úchytů upevňující se na zdvihací rameno, různé druhy základů stroje či adaptéry k uchycení například ke stožáru. ^[29]



Obrázek 12: Soubor komponentů MULE ML150 společnosti Construction Robotics

MULE je vhodný pro všechny úkoly vyžadující opakované zvedání materiálů. Používá se k výstavbě výtahových šachet, schodišťových tubusů či segmentových opěrných zdí. [30]



Obrázek 13: Zdvhací zařízení MULE ML150 společnosti Construction Robotics

Nevýhoda tohoto zařízení je, že nedisponuje napájením pomocí baterie, ale je nutné připojit jej k elektrické síti nebo generátoru pro nepřetržitý provoz. Což ale není případ stroje z řady MZ100. [28] [31]

MULE MZ100 uchopí a zvedne materiál do hmotnosti 100 liber (~45 kg) s plynulým a rychlým ovládním pohybu. Toto inovativní zařízení umožňuje jedinému zedníkovi snadno zvedat a umísťovat těžké materiály, což výrazně zvyšuje výrobní výkon. [31]

Výhodou tohoto modelu je, že je bezdrátový. MZ100 je napájen jednou 24V lithiovou baterií a může pracovat nepřetržitě až 32 hodin. Baterie se rychle dobíjí, aniž by se její stav zhoršoval, a zároveň se její výkon zvyšuje během manipulace s materiálem. Mezi další výhody této řady patří rychlé uvedení do provozu, intuitivní křivka učení a snadná manipulace, díky níž je stroj uživatelsky přívětivý. [31]



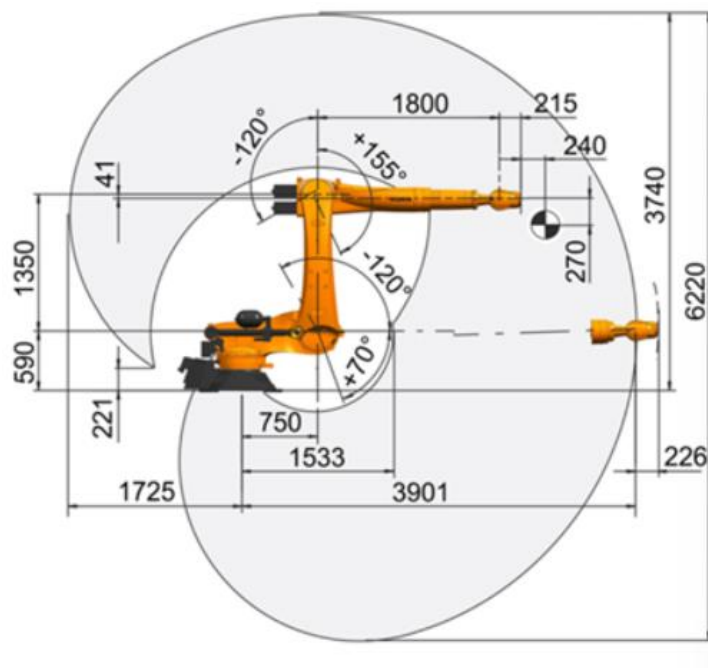
Obrázek 14: Zdvhací zařízení MULE MZ100 společnosti Construction Robotics

3.1.2 KUKA

Kuka je přední producent inteligentní autonomních robotů sídlící v německém Augsburgu. Jedná se o nadnárodní společnost zastoupenou například ve Spojených

státech amerických, Mexiku, Indii, Brazílii, Japonsku, Číně, Koreji a ve většině evropských zemí. Společnost byla založena v roce 1898 a zaměřovala se na domovní a pouliční osvětlení. Následně přes vynález svařování autogenem, výrobu velkokontejnerů a nástaveb vozidel, výrobu cestovních psacích strojů a pletacích strojů, uvedení na trh první automatické svařovací linky se dostává roku 1971 k roboticky ovládané automatické svařovací lince. [32] [33]

Roboti společnosti KUKA se využívají například v automobilovém průmyslu, při výrobě bílého zboží a bateriových článků, ve zdravotnictví, v potravinářském a masném průmyslu, dále jako součást obráběcích strojů a další. Společnost vyrábí výrobní stroje a robotické paže a právě ty, mají své uplatnění i ve stavebnictví, například již zmiňovaný systém Dekmatic momentálně využívá robotickou paži KUKA KR Quantec ultra R3900. [27] [33] [34]



Obrázek 15: Rozměry průmyslového robota KUKA KR Quantec ultra R3900

Robotickou paži KR Quantec ovšem nevyužívá pouze DEK. V roce 2018 tohoto robota využila belgicko-francouzská stavební společnost BESIX pro výstavbu 290

betonových panelů, které tvoří fasádu objektu společnosti v Dubaji. Každý z těchto panelů byl dokonce vytisknut za pouhých 10 minut a poté nainstalován do stavby. Společnost si zakládá na kladném přístupu k životnímu prostředí. 3D tisk pomocí tohoto robota je zcela bezodpadový, veškeré vstupní suroviny přemění na 3D výstup a zároveň snižuje emise CO₂, jelikož je schopný tisknout přímo na staveništi a není tak potřeba dodatečná přeprava 3D produktů z výrobních hal ^[35]



Obrázek 16: Robot KR Quantec je schopný za pomoci 3D tisku vytvořit produkty jakýkoliv tvarů

KR Quantec je schopný nejenom 3D tisku po vrstvách, ale lze jej využít i u aplikace stříkaného betonu na ocelovou výztuž. V tomto případě jde o spolupráci dvou robotů, kdy jeden aplikuje beton a druhý jej uhlazuje a případně tvaruje za pomoci velké špachtle. ^[36]

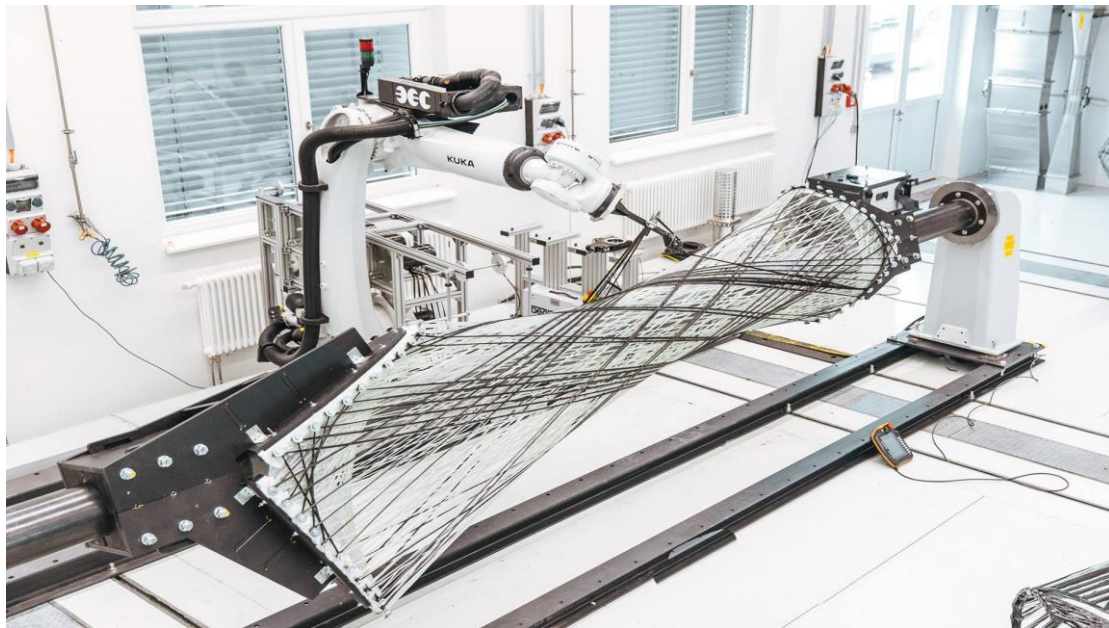
Roboti KUKA mají ve stavebnictví velký rozsah působnosti. V roce 2019 byla za pomoci robotů realizována stavba z lehké dřevěné konstrukce pro Spolkovou výstavu BUGA v Heilbronn. Stavba byla tvořena z 376 samostatných montovaných desek, které robot samostatně vytvořil slepením a zbitím dřevěných desek a trámů. Jednalo se o

soubor kleneb, který měl na délku 30 metrů a uvnitř se nenacházely žádné vnitřní nosníky ani podpěry. [37]



Obrázek 17: Dřevěný pavilon na výstavě BUGA 2019 v Heilbronnu

Pro tu stejnou akci vytvořili roboti od společnosti KUKA zcela odlišnou stavbu. Konkrétně se jednalo o stavbu, jejíž nosná konstrukce byla tvořena z navinutých uhlíkových vláken. Pro tuto výstavbu byli zapotřebí dva druhy robotů a to robot KUKA typu KR 210 R3100 QUANTEC a polohovače KP1-HC. Tato stavba se skládala z celkem 60 nosných dílců, které měly velikost až 6 metrů. Na zmíněných polohovacích byly připevněny ovinovací rámy. Tyto rámy byly propojeny ocelovou trubkou, která umožňovala jejich pohyb. Díky této trubce se mohly oba rámy pohybovat současně. Na rameni robota typu KR QUANTEC byly umístěny cívky s vláknem. Vlákno bylo nejprve impregnováno, poté bylo regulováno jeho napětí a na závěr bylo vedené k závěsným bodům ovinovacích rámov. [38]



Obrázek 18: Výroba nosné části z navinutých uhlíkových vláken objektu pro výstavu BUGA 2019 v Heilbronn

3.1.3 FieldPrinter

V roce 2019 uvedla kalifornská společnost Dusty Robotics do stavebního průmyslu revolučního pomocníka, který usnadňuje výstavbu nových objektů. Jedná se o autonomní tiskárnu FieldPrinter, která je schopna s přesností 1/16 palců (~ 1,6 mm) převést na podlahu obrys svislých konstrukcí z digitálního návrhu. A to až 10 krát rychleji než tradičním způsobem. [39] [40] [41]

Pomocí plánů Building Information Modeling (BIM) tiskne FieldPrinter prostřednictvím inkoustové cartridge digitální modely staveb přímo na podlahu staveniště a dává pracovníkům přesné pokyny, co a kde stavět. Systém vyžaduje soubor kontrolních bodů, které označují, kde ve 2D prostoru systém pracuje. Odtud se přidávají data modelu, která lze vytisknout na podlahu. Tato data mohou být ve formátu DWG nebo CSV. Jakákoli kombinace bodů, textu a čar může být vytištěna přímo ze souboru CAD a styly čar lze upravit tak, aby zobrazovaly informace o vrstvách, jako jsou typy stěn nebo typy potrubí. Nákres lze aplikovat na libovolný rovný povrch, jako například beton, překližka, dřevěné bednění či asfalt. [41]



Obrázek 19: Autonomní mobilní tiskařský robot FieldPrinter od společnosti Dusty Robotics

Mezi výhody použití této mobilní tiskárny je mimo vysoké přesnosti nákresu a úspory času také snížení nákladů, které mohou narůstat s počtem chyb vznikajících z manuálního vytyčování a následné potřeby přepracování. Další předností je pak bezproblémová komunikace a spolupráce mezi jednotlivými účastníky projektu. FieldPrinter dokáže zajistit přesný nákres v reálném prostoru, který bude v souladu s původním záměrem návrhu. Díky možnosti v reálném čase informovat řídicího pracovníka o stavu své práce a prostoru, ve kterém robot pracuje, je obsluha robota schopná včas reagovat na jakékoliv problémy, které nastanou. ^{[42][43]}

V současné době je uveden FieldPrinter 2, robot druhé generace. Oproti původní verzi je více kompaktní. Umožňuje tak pohyb v užších prostorech a lze s ní lépe manévrovat kolem překážek. Je schopný tisknout křivky a oblouky libovolných poloměrů. Rozlišení tisku je pro potřeby výstavby relativně ostré. Body, čáry, křivky a popřípadě texty jsou tištěny v rozlišení 300 DPI. Ovládání tohoto robota je velmi jednoduché za pomoci iPadu, k obsluze je tak zapotřebí pouze jeden pracovník.

Nespornou výhodou je dále jeho váha. Celý tento robot včetně baterie váží pouze 23 liber (~ 10,5 kg) ^[44]

V nynější době jde pokrok velice rychle kupředu a obzvláště v technickém odvětví. Je tedy pochopitelné, že i FieldPrinter se bude více a více vylepšovat. Dusty Robotics počítá s vylepšením automatizace, kdy se tyto mobilní tiskárny stanou autonomnějšími a budou schopny bezproblémově spolupracovat s dalšími stavebními roboty a stroji. Toto propojení otevře nové možnosti, vytvoří propojený ekosystém inteligentních stavebních technologií a sníží náklady na pracovní sílu. Mimo označování a vytyčování by robot FieldPrinter mohl pravděpodobně najít využití i v dalších sférách stavebnictví, jako je například výkop, nivelace a dokonce i pokládání cihel. ^[42]

3.1.4 HP SitePrint

Na stejném principu jako FieldPrinter pracuje i robot od kalifornské společnosti Hewlett-Packard s názvem HP SitePrint. Tento robot byl představen až o tři roky později než výše zmiňovaná mobilní tiskárna a to v roce 2022. ^[45]

Tento stroj je vybaven vnitřním sledovacím hranolem, který spolupracuje s robotickou totální stanicí. Jedná se o geodetický přístroj, který je schopen zaměřit úhly, ať už vodorovné či výškové, vzdálenosti a následně vytyčit tyto hodnoty v prostoru vůči souřadnicovému systému. ^{[45] [46]}

Robot od HP je o něco méně přesný než robot od Dusty Robotics, konkrétně je schopný tisknout s maximální odchylkou 3 mm. Tato mobilní tiskárna je schopna natisknout rovné čáry, ale i křivky a oblouky s minimálním průměrem 28 cm doplněné o potřebné popisky a to rychlostí 900 metrů za hodinu, což je až 10 x rychleji než při manuálním tištění. Tisková hlava je schopna dle návrhu tisknout čáru o tloušťkách v rozmezí 2 – 50 mm. Tisk je jako v předchozím případě prováděn za pomoci inkoustové cartridge. Inkoust používaný u této tiskárny je dvojího typu, smývateľný nebo odolný. U smývateľného inkoustu, jak již název napovídá, je jeho trvanlivost velice krátká. V případě, že je použit odolný inkoust, a i přesto je potřeba jej z plochy odstranit, je

zapotřebí použít speciální mycí prostředek. Výhodou této tiskárny je její schopnost tisknout i na hrubší materiály, například je schopna natisknout čáry na beton s hrubostí 2 cm. Je ale schopna tisknout i na jiné materiály, jako je vinyl, překližka nebo asfalt. V neposlední řadě je předností HP SitePrint také její váha, která je pouhých 9 kilogramů včetně baterie s výdrží až 8 hodin. ^{[45] [46] [47]}



Obrázek 20: Robotická tiskárna SitePrint od společnosti Hewlett-Packard Development Company, LP

Ovládání HP SitePrint je velice snadné. Záleží jen na pracovníkovi, se kterým přístrojem se mu bude nejnadhěji pracovat. Tiskárnu lze totiž napojit na kterékoliv zařízení, které má přístup k internetu, popřípadě disponuje Bluetooth, ať už jde o tablet, chytrý telefon, notebook nebo stolní počítač. Dále je zapotřebí CAD soubor s informacemi ve 2D, ze kterého bude tiskárna číst údaje. Jako v předchozím případě je zapotřebí stanovit kontrolní bod, se kterým se robot vyrovná, a který bude v průběhu tisku sledovat, bude-li potřeba. V průběhu samotného tisku pak zasílá aktuální data o své práci řídicímu pracovníkovi do zvoleného zařízení. ^[46]

Výrobce deklaruje, že tiskárna HP SitePrint je schopna pracovat v jakémkoliv prostředí. Pokud ale chceme docílit vysoké kvality tisku a přesnosti, optimální teplota se

pohybuje od 15 – 105 °F (~ -9,5 °C – 40,5 °C) a optimální relativní vlhkost vzduchu je od 20 – 80 %. [46]

3.1.5 Jaibot

Robotizace postupně zasahuje do každé části výstavby budovy. Robot Jaibot se specializuje na vrtání otvorů ve stropní konstrukci, které slouží pro následné upevňování potrubí a pro dokončovací interiérové práce. [48]



Obrázek 21: Poloautonomní vrtací robot Jaibot od společnosti Hilti AG

V roce 2020 představila společnost Hilti AG poloautonomního mobilního robota, který díky svým vlastnostem dokáže zvýšit produktivitu, bezpečnost a je zároveň řešením nedostatku pracovních sil, což jsou ostatně atributy vyžadované u všech používaných robotů ve stavebnictví. [49]

Robot je řízen jedním vyškoleným pracovníkem, který nahraje potřebná data z programu AutoCAD nebo Revit do Hilti cloudu, která musí být v řešení BIM. Následně jsou tato data pomocí tabletu přenesena do půdorysu stavby a nakonec je potřeba

zaměřit reálnou stavbu pomocí totální stanice. Po těchto krocích již může robot vykonávat svou práci plně automaticky. Tato práce spočívá ve vyvrtání velkého množství děr. Poloha, hloubka a průměr jednotlivých vrtaných děr je pak dána dle předložených digitálních dat. Nakonec je schopný nově vyvrtané otvory označit podle daného řemesla, které daný otvor následně využije ^[48] ^[49]

Robotické rameno Jaibot může pracovat se stropy vysokých 8,5 až 16,5 stop (~ 2,6 – 5,0 m) a může vrtat otvory o průměru od 3/16 palce do 3/4 palce (~ 4,8 – 19,0 mm). ^[50]

Výhodou tohoto robota je baterie s výdrží až 8 hodin. Zároveň je vybaven integrovaným řešením pro odsávání prachu a znečištění otvorů. Dále jako většina robotů umožňuje sledovat průběh práce v aktuálním průběhu práce v reálném čase za pomoci synchronizace přes mobilní datovou síť. ^[51]

V roce 2022 došlo k modernizaci Jaibot robota. Byl vybaven o autonomní vrtání na vlnitých kovových stropech a na betonových stěnách. V současné době je schopný identifikovat a mapovat profil instalované vlnité konstrukce, porovnat ji s digitálním výkresem a automaticky přizpůsobit plánované vrty. Aby se Jaibot vyhnul překážkám, jako jsou stávající zařízení nebo konstrukce, dokáže tyto objekty detekovat a podle toho přizpůsobit pracovní oblast a pohyby ramene. Kromě toho nyní Jaibot dokáže vrtat a označovat otvory ve svislých betonových stěnách vysokých od 1,2 do 4,8 metru. ^[52]

Zároveň se společnost zaměřila na zvýšení bezpečnosti, zjednodušení použití a zvýšení přesnosti. Nyní je robot schopen zvýšit svůj výkon při odstraňování prachu o 30 % než tomu bylo před tímto upgradem. Byl také integrován nový senzorický systém, který zvyšuje přesnost hloubky a vzdálenosti vrtu. A v neposlední řadě lze do cloudové aplikace Hilti nahrát 2D plány, které obsahují informace o konstrukcích či instalacích a umožňují tak lepší informace o prostředí. ^[52]

3.1.6 Baubot

Za multifunkčním robotem Baubot stojí rakouská firma PrintStones, která byla založena v roce 2017. V té době se společnost zaměřovala pouze na 3D tisk betonových konstrukcí. Až v roce 2020 rozšířila svoje portfolio o víceúčelový mobilní robotický systém, který byl schopný nejen 3D tisku, ale zároveň uměl vrtat a frézovat. Rok 2022 byl pro společnost přelomový díky navázání partnerství se společností Fischer Group, které vedlo k vývoji a testování nové generace mobilních robotických systémů. ^[53]



Obrázek 22: Plně automatický multifunkční robot Baubot MRS12

Cílem společnosti je použití jakéhokoliv nástroje na jakémkoliv místě a tam jej použít prostřednictvím robota. V nynější době je robot schopný například manipulace a přepravy předmětů za pomoci dvou, tří nebo víceprstových chapadel, příklepového či jádrové vrtání, odsávání vzniklého prachu, instalace chemických či mechanických kotev, frézování a v neposlední řadě 3D tisk. ^[54]

Pro práci robota je zapotřebí digitální model, který předem simuluje celý proces robota, od dráhy plošiny až po sekvenci pohybů robotického ramene. Model umožňuje včas odhalit kolize a další komplikace. Kromě toho lze velmi přesně předpovědět čas a náklady na potřebnou práci, čímž se snižuje překročení rozpočtu a zpoždění projektu. Před samotnou prací robota je třeba robota umístit do pracovního prostoru pomocí dálkového ovládání. Vyškolený pracovník nastaví totální stanici podle digitálního plánu a připojí ji k robotu. Po tomto nastavení se robot pohybuje a polohuje zcela automaticky. [55]

Pomocí senzorů robot detekuje odchylky od standardního procesu vrtání a reaguje na ně pomocí předem definované strategie. Parametry procesu pro každý proces jsou zaznamenány v modelu BIM. Pro zajištění bezpečnosti při práci je robot vždy pod dohledem vyškoleného pracovníka. Robot je také vybaven senzory, které vytvářejí bezpečnostní zónu kolem robota a zabraňují neoprávněnému vstupu do jeho pracovního prostoru. [55]

V současné době jsou na trhu dva typy Baubot robota a to Baubot MRS12 a Baubot MRS5. [54]

Typ MRS12 je vhodný na úkony, kde je potřeba vysoká nosnost vozidla a robotického ramene. Dále je vhodný na úkoly, které vyžadují mimořádnou stabilitu a dosah. Jedná se o relativně kompaktní stroj. V přepravní poloze měří 2,1 m na délku, 1,8 m na výšku a 0,8 m na šířku, což jsou ideální rozměry na to, aby prošel dveřmi standardních rozměrů. Při spuštění do provozu musí robot dosáhnout optimální stability, což znamená, že se musí ukotvit a poté je jeho šířka přibližně 1,7 m. Co se váhy týče, tak tento typ váží 1300 kg. Je schopný efektivně pracovat až do výšky 4 m a to jak na stěnách, střepech tak i na podlahách. Jedná se o mobilního robota, který dosahuje rychlosti až 3 km/h a díky systému na detekci překážek dokáže upozornit řídicího pracovníka na kritické překážky během provozu. Jeho velkou předností je možnost překonávat překážky až do výšky 100 m. Pokud je v provozu hydraulika, je schopen se automaticky stabilizovat, což vede k větší bezpečnosti a přesnosti. Je v podstatě schopen fungovat ať už v interiéru či exteriéru, kde odolává povětrnostním podmínkám. Pro

efektivní práci je ale vhodná teplota 5 – 40 °C a relativní vlhkost vzduchu nižší než 85 %.

[54]



Obrázek 23: Robot Baubot MRS12 při zdolávání překážek

Druhý typ MRS5 je vhodný do stíněnějších prostorů a do prostorů, kde velké zatížení stropů je problematické. Co se technických parametrů týká, tak na rozměry tohoto typu jsou 2,1 m délka, 2,1 m šířka a 0,95 m výška. Díky těmto rozměrům a váze pouze 500 kg je hmotnost přístroje rozložena na větší plochu a tím pádem je vhodný pro použití na stropích, které jsou citlivější na dodatečné zatížení. Robotické rameno je schopno pracovat na rovných i zakřivených plochách a to s dosahem od 1,1 m do 1,9 m. Jako předchozí typ, má i MRS5 detekci překážek a je taktéž schopný překážky překonávat. Rychlost, kterou se tento typ dokáže pohybovat je až 10 km/hod. [54]



Obrázek 24: Robot Baubot MRS5

3.2 Zhodnocení pomocných robotů

Pomocní roboti v oblasti stavebnictví přinášejí revoluci v konstrukci a realizaci staveb. Mezi ně patří například Mule, Kuka, FieldPrinter, HP SitePrint, Jaibot anebo Baubot.

Mule přináší zásadní vylepšení v manipulaci s těžkými materiály na staveništi a snižuje riziko úrazů či přetížení pracovníků. Model MZ100, vybavený bezdrátovým napájením, navíc poskytuje vyšší flexibilitu a nepřetržitou pracovní kapacitu. Kuka, známá svou širokou škálou aplikací v průmyslu, se stává klíčovým hráčem i ve stavebnictví, kde pomáhá například při svařování a 3D tisku betonových panelů. Jejich robotické paže umožňují precizní a opakované operace, což vede ke snížení nákladů a zvýšení rychlosti prací. FieldPrinter a HP SitePrint posouvají možnosti 2D tisku na staveništi tím, že umožňují rychlejší a přesnější vytyčení konstrukcí, čímž snižují chybovost a náklady spojené s manuálním vytyčováním. S jejich mobilitou a schopností tisknout na různé povrchy lze získat vysokou flexibilitu a praktičnost. Jaibot a Baubot se zaměřují na specifické úkoly, které přinášejí významné vylepšení v různých aspektech stavební práce. Jaibot exceluje v precizním vrtání otvorů ve stropních, ale i stěnových konstrukcích, zatímco Baubot se vyznačuje širokým spektrem schopností. Je schopen nejen manipulovat s těžkými předměty, ale také poskytuje podporu při mnoha dalších úkolech na staveništi, jako je frézování, vrtání či 3D tisk.

Pomocní roboti v oblasti stavebnictví přinášejí mnoho výhod, včetně zvýšené efektivity, bezpečnosti a přesnosti, a postupně se stávají nezbytnou součástí moderního stavebního průmyslu. Díky jejich široké škále aplikací a schopnosti přizpůsobit se různým projektům mohou hrát klíčovou roli v budoucnosti stavebnictví.

4. Moderní tepelné izolace

Tepelné izolace jsou materiály a systémy, které jsou schopny svými vlastnostmi omezit přenos tepla mezi dvěma prostředími s různými teplotami. Jejich hlavním účelem je minimalizovat ztráty tepla z interiéru a tím zlepšit energetickou účinnost budov. Používají se jako doplňková vrstva ke konstrukcím, které nejsou sami o sobě schopny dosáhnout požadovaných hodnot součinitelů prostupu tepla a zajistit tak teplotní komfort uvnitř budov.

V případě výstavby stěn mohou být pro vyzdívání použity speciální cihly či tvárnice, které samy o sobě splňují hodnotu součinitele prostupu tepla U [W/m^2K] stanovenou pro obvodovou stěnu. Na trhu je momentálně k dostání například cihelné zdivo Porotherm 30 T Profi, které má hodnotu součinitele prostupu tepla $U = 0,21 W/m^2K$. I přesto, že toto zdivo by nepotřebovalo doplňující tepelnou izolaci, kritickými místy jsou z hlediska tepelně izolačních vlastností oblasti věnců, překladů a stropů, které jsou z materiálů s horší hodnotou U a je potřeba je vybavit dodatečnou vnější tepelnou izolací, aby nedocházelo ke vzniku tepelných mostů. ^[56]

Moderní tepelně izolační materiály představují revoluční technologický pokrok ve stavebnictví. S rostoucím důrazem na energetickou účinnost, udržitelnost a vnitřní pohodlí se výběr správného izolačního materiálu stal pro dosažení těchto cílů klíčovým.

Pro zateplení budov jsou stále v dnešní době nejpoužívanější dva druhy izolantů a to pěnový polystyren, který dle druhu má součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,031 - 0,039 W/m\cdot K$ a minerální vlna, u které je dle typu součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,033 - 0,042 W/m\cdot K$.

Při hodnocení nově navržených budov vycházíme z hlediska tepelně izolačních schopností konstrukcí z fyzikální veličiny s názvem součinitel prostupu tepla. Tato veličina se označuje písmenem U a její jednotkou je $W/m^2 \cdot K$. Součinitel prostupu tepla udává, kolik tepla unikne danou konstrukcí, která má plochu $1 m^2$ a zároveň rozdíl teplot na obou površích dané konstrukce je roven $1 K$.^[57]

Výstavba nových budov po roce 2022 by měla probíhat takovým způsobem, aby nově vzniklé stavby odpovídaly nárokům tzv. budovám s téměř nulovou spotřebou energie (nZEB). Budovy s téměř nulovou spotřebou energie jsou budovy s velmi nízkou energetickou náročností, kde je většina spotřeby energie zajišťována z obnovitelných zdrojů energie. Toto upravuje vyhláška č. 264/2020 Sb., ve které se je stanoven redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla u budov s téměř nulovou spotřebou energie na hodnotu $0,7$.^[58]^[59]

Tento redukční činitel je zohledněn při výpočtu součinitele prostupu tepla U jednotlivých konstrukcí nově navržené budovy. Původně požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U pro jednotlivé konstrukce se nachází v normě ČSN 73 0540 – 2.

Tabulka 3: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla z normy
ČSN 73 0540 – 2

ČSN 73 0540-2

Tabulka 3 – Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující
návrhovou vnitřní teplotou θ_{in} v intervalu 18 °C až 22 °C včetně

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 6)}	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ⁶⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³⁾	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 ²⁾	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 ⁷⁾	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4

(pokračování)

V případě, že se zaměříme na stěny vnější, u kterých ČSN 73 0540 – 2 udává požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla $U_{N,20} = 0,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, tak po použití výše zmiňovaného redukčního činitele získáváme požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla $U_{N,20} = 0,21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Pokud pro nosnou část vnější stěny použijeme například broušené cihly Porotherm 30 RR Profi Dryfix, tl. 300 mm se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,175 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, je tak potřeba použít například pěnový polystyren Isover EPS 70F se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ v minimální tloušťce 120 mm. [60] [61]

Tabulka 4: Posouzení součinitele prostupu tepla obvodové stěny z Porotherm 30 RR Profi Dryfix zateplené tepelnou izolací Isover EPS 70F, tl. 120 mm v programu Teplo 2017

Název úlohy : **Obvodová stěna - Porotherm 30 RR Profi Dryfix + Isover EPS 70F**
 Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová
 Zakázka : Diplomová práce
 Datum : 04.04.2024

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová
 Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]	Mi [-]	Ma [kg/m ²]
1	Baumit Silipor	0,0020	0,7000	920,0	1800,0	95,0	0.0000
2	Baumit StarCon	0,0050	0,8000	920,0	1400,0	50,0	0.0000
3	Isover EPS 70F	0,1200	0,0390	1270,0	16,0	30,0	0.0000
4	Baumit StarCon	0,0080	0,8000	920,0	1400,0	50,0	0.0000
5	Baumit univerz	0,0030	0,8000	900,0	1800,0	100,0	0.0000
6	Porotherm 30 R	0,3000	0,1750	1000,0	800,0	10,0	0.0000
7	Vápenocementov	0,0100	0,9900	790,0	2000,0	19,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} :	0.13 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{si} :	0.25 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} :	0.04 m ² K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{se} :	0.04 m ² K/W
Návrhová venkovní teplota T_e :	-12.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} :	20.0 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} :	90.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} :	55.0 %

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :**Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:**

Tepelný odpor konstrukce R :	4.824 m ² K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U :	0.200 W/m ² K

4.1 Příklady tepelných izolací

4.1.1 Aerogel

Aerogely jsou skupinou materiálů, které se vyznačují nejnižší známou hustotou, která se nejčastěji pohybuje okolo 0,020 g/cm³. Aerogel s nejnižší hustotou má hustotu dokonce pouze 0,0011 g/cm³ a zároveň tento aerogel disponuje objemem vzduchu 99,98 %. Typickým objemem vzduchu u aerogelů bývá v rozmezí 95 – 99 %, zbylá procenta jsou tvořena pevným rámem materiálu, ze kterého je daný aerogel vytvořen. Obecně se jedná o suché materiály, které mají pevnou porézní strukturu. [62]

Další specifikací těchto materiálů je jejich schopnost tepelné izolace. Součinitel tepelné vodivosti λ je roven 0,013 W/m·K – 0,020 W/m·K. Zároveň se jedná o jedinou hmotu s takto výraznými tepelněizolačními schopnostmi, která je zároveň čirá. Propustnost slunečního záření aerogelu se totiž pohybuje v rozsahu $T = 0,85 – 0,95$. Pro představu propustnost slunečního záření zasklením jednoduchého skla je $T = 0,9$ [63] [66] [67]

Mezi další podstatné vlastnosti aerogelů se řadí jednoznačně nehořlavost, schopnost vrátit se do původního stavu i po zatížení 55 kPa, hydrofobnost, difúzní otevřenost, jelikož faktor difúzního odporu μ je roven hodnotě 5 a snadná manipulace při montáži. ^[63]

Je nutné zmínit, že se nejedná se o žádnou konkrétní látku, ale spíše o geometrii daného materiálu. Aerogel je možné vyrobit z křemíku, oxidů přechodných kovů, oxidů lanthanoidů a aktinoidů, organických polymerů, biologických polymerů, polovodičových nanostruktur, uhlíku, uhlíkových nanotrubic či kovů. Nejtypičtějším zástupcem aerogelů je pak Silica Aerogel. Jedná se o typ vyrobený z oxidu křemičitého. ^[62]



Obrázek 25: Klasický křemičitý aerogelový monolit

Stejně jako mnoho jiných aerogelů začínají křemíkové aerogely svůj život jako mokré gely, v tomto případě jde konkrétně o silikagel. Silikagel se skládá ze dvou složek a to pevné nanoporézní kostry oxidu křemičitého, která dává gelu tuhost a pevný tvar, a kapaliny, která prostupuje póry kostry. Tyto aerogely se vyrábějí odstraněním kapaliny ze silikagelové struktury tak, aby si gelová struktura zachovala alespoň 50 % svého původního objemu, obvykle ale bývá okolo 90 – 99 %. Tento proces se obvykle provádí superkritickým sušením gelu. Základem tohoto postupu je změna teploty a tlaku takovým způsobem, aby nedošlo k přímému přechodu z kapalného do plynného

skupenství. Naopak je nutné, aby se při superkritickém sušení obešel tzv. kritický bod. Jedná se o koncový bod křivky mezi párou a kapalinou na fázovém diagramu. ^{[64] [65]}

V České republice je dostupná kombinace aerogelu a nosného rouna či vyztužujících vláken. Lze jej instalovat tam, kde je příliš málo prostoru na běžné typy tepelných izolací. Jedná se například o izolace žaluziových kaslíků, ostění, překladů či parapetů. Dále izolace balkonů a lodžii či subtilních konstrukcí. Dá se ale využít i jako izolace potrubí a instalačních skříní. ^[68]

Instalace je pak velmi snadná. Aerogelovou izolaci lze řezat běžným zalamovacím nožem na potřebné rozměry a následně ji například pomocí cementového stavebního lepidla připevnit na rovný, čistý a soudržný povrch. V případě zateplování větších ploch je však nutné mechanického kotvení. ^[68]

Jedná se o velice nákladnou izolaci. 1 m² izolace aerogel v tloušťce 30 mm na lze českém trhu pořídit přibližně za 9 620 Kč bez DPH. ^[69]

4.1.2 Fenolická pěna

Fenolická pěna vzniká napěněním fenolformaldehydové pryskyřice. Po napěnění se tato průmyslově vyráběná umělá hmota vytvrzuje do bloků, které jsou z obou stran pokryty vrstvou hliníkové fólie, nakaširovaného polystyrenu nebo tkaniny na bázi skla. Bloky se následně řežou na požadované rozměry. ^[70]

Hlavní předností tohoto tepelného izolantu je nízký součinitel tepelné vodivosti λ , který se pohybuje v rozmezí 0,020 W/m·K – 0,022 W/m·K. Využívá se tedy zejména v místech, kde je potřeba malá tloušťka izolantu jako například parapety, ostění, nadpraží dveřních i okenních otvorů. Dále ji lze využít jako tepelný izolant podlah v případech, kdy je s běžně používaným tepelným izolantem komplikované zachování minimální světlé výšky místnosti. Rozhodně ji lze využít i na zateplení obvodových stěn. Toto řešení je ale podstatně nákladnější, než využití standardně aplikovaných tepelných izolací. Další vlastností, se kterou je potřeba počítat je její difúzní otevřenost. Faktor difúzního odporu μ je roven hodnotě 35. ^{[70] [71]}

Mezi výhody fenolické pěny můžeme zařadit i reakci na oheň, která je v tomto případě stanovena na třídu C. Jedná se o materiál, který je schopný zpomalovat hoření, aniž by odkapával jako je tomu například u polystyrenu. Obecně se vyznačuje nízkou hořlavostí a nízkou hustotou a toxicitou kouře. [71] [72]

Nevýhodou fenolické pěny oproti pěnám jako jsou polyuretanové či polystyrenové jsou nižší mechanické vlastnosti, jako je pevnost v tlaku a ohybu. Zároveň má oproti těmto pěnám vyšší drobivost. [73]



Obrázek 26: Fasádní desky z fenolické pěny KOOLTHERM K5

V České republice jsou k dostání například fenolické desky KOOLTHERM K od společnosti Kingspan. Tyto desky se aplikují pomocí lepicí hmoty na rovný, suchý a soudržný povrch a následně se kotví pomocí talířových hmoždinek. Jednotlivé desky lze přímo na stavbě řezat zubatým nožem, ne však odporovým drátem. Specifikací těchto desek je pak označení strany, která má být aplikovaná na stěnu. [74]

Co se ceny týká, 1 m² fenolické pěny v tloušťce 30 mm lze na českém trhu pořídit přibližně za 430 Kč bez DPH. [75]

4.1.3 Pěnové sklo

Pěnové sklo je tepelný izolant, který se používá k izolaci převážně plochých střech, podlah a základů. Lze jej ale využít i jako řešení pro tepelné mosty, obvodové stěny

sklepů, sokly budov, izolace bazénů či zásypy kleneb. Nalezne využití všude tam, kde je potřeba vysoká únosnost v tlaku. [76] [77] [78]

Existují dva způsoby výroby pěnového skla. První metoda spočívá v přímém vhnání plynu do roztaveného skla. Tomuto procesu se říká foukání. Druhý, ekonomičtější způsob, využívá viskózního průtokového slinování jemných skleněných prášků, které vytváří pyroplastickou hmotu. Tato hmota se poté napěňuje pomocí speciálních práškových přísad nazývaných pěnidla. Tento proces přináší nejen úspory energie, protože probíhá při nižší teplotě než foukání, ale také ekologické výhody. Sklářský prášek v tomto procesu může totiž obsahovat různé druhy recyklovaného skla, včetně materiálů z vitrifikace anorganického odpadu. [79]

Po napěnění a zchlazení se vytvořený blok řeže a brousí na požadované rozměry. Takto vznikají bloky pěnového skla. Pro využití u základů je ale potřeba štěrk z pěnového skla. Ten se vyrobí jednoduše a to tak, že vytvořené bloky se rozdrtí a vzniklá drť se zatřídí dle frakce. [78]

Mezi přední vlastnosti se řadí nehořlavost. Tato vlastnost je díky obsaženému sklu. Vlastností bloků z pěnového skla je dále vodotěsnost a parotěsnost, což je způsobeno pevnou strukturou uzavřených buněk. Problém může nastat při napojení jednotlivých desek, kdy při špatné montáži tuto vlastnost ztrácí. V případě štěrku z pěnového skla musíme rozlišovat mezi zrny a celkovým zásypem. Samotná zrna jsou sice parotěsná, ale použitý zásyp je zcela prodyšný. Dále se jedná o tepelný izolant s nejvyšší pevností v tlaku, která se pohybuje od 0,5 MPa až do 1,6 MPa. Zároveň má pěnové sklo relativně nízkou objemovou hmotnost ρ a to 120 – 190 kg/m³. Díky tvarové stálosti vlivem nízkého součinitele tepelné roztažnosti a nenasákavosti je tento tepelný izolant vhodný právě pro izolaci základů, suterénů či bazénů. V neposlední řadě se jedná o materiál, který je příznivý k životnímu prostředí, jelikož jej lze 100 % recyklovat a jeho životnost je velice vysoká, vzhledem k tomu, že je odolné vůči škůdcům, plísním i chemickým látkám. [78] [80]

V případě součinitele tepelné vodivosti λ je na tom pěnové sklo oproti dříve zmíněných aerogelech a fenolické pění podstatně hůře. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ dosahují u pěnového skla od 0,040 W/m·K do 0,075 W/m·K. Jedná se o hodnoty, které jsou horší než u běžně používané minerální vlny. Oblast použití a výhody pěnového skla jsou ale diametrálně odlišné. Z tohoto důvodu nelze srovnávat tyto dva druhy tepelných izolantů. ^[78]



Obrázek 27: Izolační deska z pěnového skla FOAMGLAS® T3+

Montáž pěnového skla je velmi snadná. V případě šterku, který se využívá jako izolace základů, se nejdříve sejme ornice, následně se vyhloubí potřebná jáma, která se vyloží geotextilií. Dále se jáma vysype šterkem z pěnového skla, kde výška vrstvy pěnového skla musí být stanovena statickým posudkem. Pěnové sklo se urovná, zhutní a provedou se zatěžkávací zkoušky. Poté se aplikuje hydroizolace a na závěr se vybetonuje základová deska. V případě bloků z pěnového skla probíhá montáž pokládkou bloků do maltového lóže stejně jako je tomu například u zdících materiálů. ^{[81] [82]}

Co se ceny týká, 1 m² pěnového skla v tloušťce 40 mm lze na českém trhu pořídit přibližně za 1 040 Kč bez DPH. ^[83]

4.1.4 Vakuové izolace

Vakuové izolace lze na trhu nalézt též pod zkratkou VIP, jedná se o zkratku z anglického Vacuum Insolation Panel. Jak již anglický název napovídá, jde o panely, které však neobsahují vzduch, ale vakuum. Princip těchto panelů spočívá v přenosu tepla

sáláním, což je méně efektivní způsob předávání tepla než vedením, ke kterému nemůže dojít vzhledem k tomu, že z panelů je odčerpán vzduch. [84]

Svůj tvar si vakuové izolační panely drží díky jádru, které je tvořeno z tenkých křemičitých vláken. Jelikož je z jednotlivých panelů odčerpáno, co možná nejvíce vzduchu, je zapotřebí, aby jádro bylo obaleno pevnou a neprodyšnou vrstvou, která je schopna zabránit zpětnému vnikání vzduchu. Jedná se většinou o vrstvu z polyethylenu, který je následně opatřen vrstvou hliníku, což snižuje tepelné ztráty sáláním. [84]



Obrázek 28: Vakuový izolační panel VakuPro

Vakuová izolace se využívá převážně lokálně a to v místech, kde není prostor na velké množství tepelných izolantů. Typickými příklady jsou parapety, ostění otvorů či oblasti žaluziových kaslíků. Zároveň ji lze použít do podlahy interiéru, do teras nad vytápěným prostorem, nebo jako izolaci svislých stěn lodžii, interiérových stěn a střeš.

[84] [85]

Vakuová izolace se momentálně řadí mezi nejlepší tepelné izolanty z hlediska součinitele tepelné vodivosti λ . Její hodnota je pouze 0,007 W/m·K. Dále se jedná se o materiál, který je hydrofobní, vzduchotěsný a jeho faktor difúzního odporu μ je roven 5 000 000. Co se týče hořlavosti, vakuové izolace se řadí do třídy reakce na oheň E. Jsou totiž schopny dlouhodobě odolávat teplotám pouze do 80 °C. [85] [86]

Specifikem této izolace je její montáž. Jedná se o tepelnou izolaci, která je nutná vyrobit přímo na míru dle kladečského plánu. Vzhledem k vakuu, není možné jednotlivé

panely na stavbě řezat a upravovat tak rozměry dle aktuální situace. Každé narušení ochranné vrstvy panelu znamená, že dojde ke ztrátě vakua a tím pádem zvýšení součinitele tepelné vodivosti λ na hodnotu přibližně 0,020 W/m·K. Montáž probíhá dle potřeby dvěma způsoby. První způsob je pokládka bez lepení. Toto se uplatňuje tehdy, pokud je vakuová izolace využívána jako tepelná izolace například podlah. Druhý způsob je pak pokládka za pomoci tmelu. V obou případech je ale nutný čistý, suchý a rovný povrch. [84] [87]

1 m² vakuového izolačního panelu v tloušťce 30 mm lze například na švýcarském trhu pořídit za 233 CHF, což je v přepočtu přibližně 5 895 Kč. [88]

4.1.5 PUR

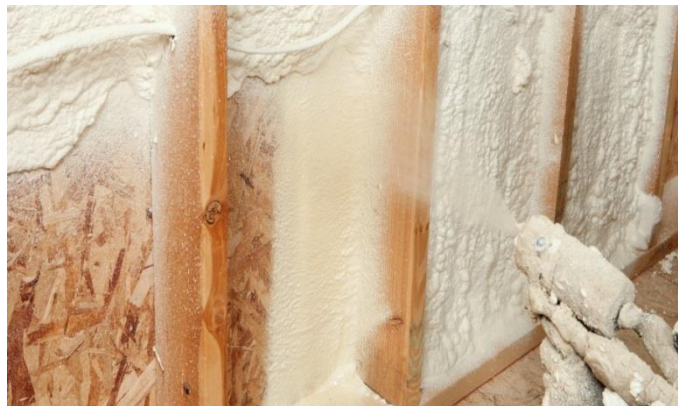
Polyuretan je plastický materiál, který se vytváří smísením dvou hlavních složek a to polyolu a isokyanátu. Když se tyto dvě látky spojí, začnou spolu reagovat, což vede k vytvoření polymerové sítě, z níž vzniknou polyuretany, obvykle ve formě pěny. [89]

PUR se ve stavebnictví využívá ve dvou formách. Buď ve formě desek, anebo ve formě stříkané pěny. PUR desky se využívají při zateplování nosných stěn, ale také balkonů či lodžii. Lze je též použít jako tepelný izolant podlah. Stříkaná PUR pěna se uplatňuje převážně jako tepelná izolace podkroví a stěn s nosným dřevěným rámem. Lze ji ale použít jako tepelnou izolaci stropů, podlahy, fasády i základů. [90] [91]



Obrázek 29: Fasádní desky z polyuretanu

Stříkaná PUR pěna se pak dělí na měkkou a tvrdou. Měkká PUR pěna se vyznačuje otevřenou buněčnou strukturou. To má výhodu v dobré schopnosti pohlcovat zvuk a neodrážet jej. Měkká pěna se využívá převážně k tepelné izolaci krovů, stropů a stěn. Další výhodou tohoto typu je schopnost utěsnit sebemenší prostor, jelikož během aplikace zvětší svůj objem až 100 x. Součinitel tepelné vodivosti λ je roven 0,037 W/m·K a difúzní odpor je v rozmezí 3 – 4, což z tohoto typu dělá paropropustný izolant. Zároveň se jedná o zdravotně nezávadný materiál, jelikož je schopen odolávat vzniku plísní. Oproti tomu tvrdá pěna má buněčnou strukturu uzavřenou. Jedná se o typ s výbornými mechanickými vlastnostmi, který se zároveň vyznačuje tím, že není paropropustný. Je tedy vhodná pro zateplení základů a suterénních prostor. Součinitel tepelné vodivosti se u tvrdé pěny pohybuje od 0,027 W/m·K do 0,029 W/m·K a hodnota difúzního odporu je 70 – 90. PUR izolace ve formě desek má součinitel tepelné vodivosti λ o něco lepší. Hodnota λ se u tohoto typu pohybuje kolem 0,022 W/m·K a faktor difúzního odporu μ pak nabývá hodnot okolo 20^{[91] [92]}



Obrázek 30: Aplikace stříkané PUR pěny

Je nutné zmínit, že PUR izolace není nehořlavý materiál, ale má schopnost samozhášení. Jedná se o vlastnost materiálu, kdy v případě požáru nescapává a zároveň pokud na něj nepůsobí dostatečně intenzivní oheň, může dojít až k samovolnému uhašení požáru. U PUR izolace se jedná o působení ohně do teploty 120 °C. Problematické u PUR izolací je však uvolňování toxických plynů do ovzduší při hoření,

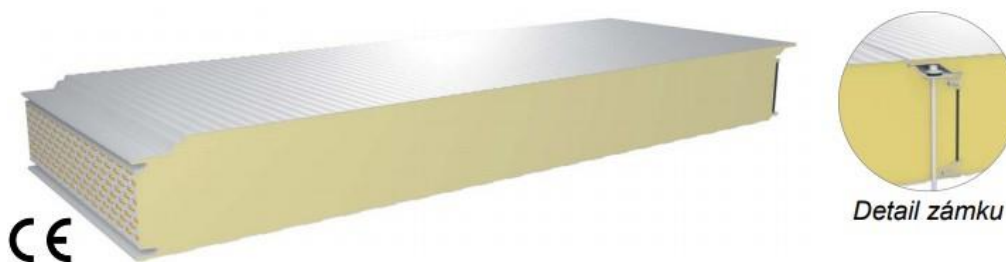
které mohou být pro lidský organismus nebezpečné. Dle chemického složení se pak řadí do tříd reakce na oheň C – F. [93] [94] [95] [96]

Cena 1 m² PUR lehké pěny v tloušťce 100 mm se pohybuje na českém trhu od 300 Kč do 350 Kč a 1 m² PUR tvrdé pěny pak od 750 Kč do 850 Kč. [97]

4.1.6 PIR

PIR vzniká spojením tří molekul isokyanátu do kruhu, který se nazývá isokyanurát. Od toho název polyisokyanurát. Čistý PIR sám o sobě není vhodný pro většinu aplikací. Aby se stal použitelným pro výrobu materiálů, jako jsou izolační pěny, je nutné ho kombinovat s polyolemy a dalšími přísadami. Tento proces se nazývá vypěňování. Podobný proces se používá i při výrobě PUR, ale složení se může lišit v závislosti na požadovaných vlastnostech materiálu. Vše, co je v dnešní době na trhu označeno jako PIR, je tedy v podstatě směs PUR a PIR. [98]

PIR pěna se vyrábí převážně v deskách, které mají z obou stran vrstvu z dalšího materiálu, nejčastěji plastu či plechu. Jedná se tedy v podstatě o kompozity, které jsou následně využity pro izolaci stěn a střech. PIR pěna se uplatní i jako izolant podlah. Takovéto kompozity, nazývané také sendvičové panely se poté hojně využívají při montáži průmyslových hal, pro které jsou vyráběny celostěnové panely. [95]



Obrázek 31: Stěnový panel od společnosti SATJAM

Často se uvádí, že PIR izolace je vylepšenou verzí PUR izolace. Ve většině vlastností je na tom totiž PIR izolace lépe. Součinitel tepelné vodivosti λ je menší. Pohybuje se od 0,022 W/m·K do 0,027 W/m·K. Co se týká faktoru difúzního odporu μ , ten závisí na dané

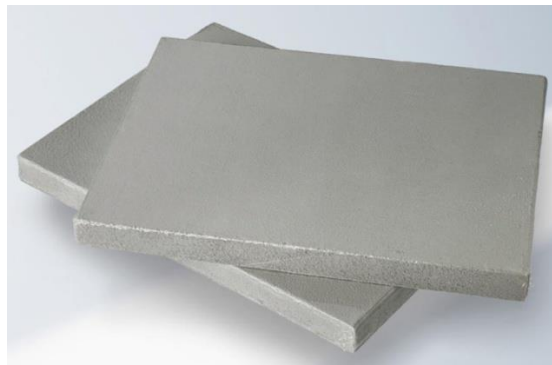
úpravě PIR desek. Nabývá však hodnot od 55 a výše. Z hlediska požární odolnosti má také lepší vlastnosti. Opět se jedná o samozhášivý materiál, který se řadí do třídy reakce na oheň C – E. Toto zařazení záleží na složení konkrétního kompozitu. Je však schopen odolávat vyšším teplotám a to až do hodnoty 250 °C. Dále se jedná o materiál s relativně nízkým procentem nasákavosti, který dosahuje pouze 2 % a z hlediska paropropustnosti může být jak paropropustná tak parotěsná, což se odvíjí od typu povrchové úpravy. Oproti tomu ale například tvrdá PUR pěna je vodotěsná a parotěsná a to díky její uzavřené buněčné struktuře. ^{[98] [98] [99] [100] [101]}

Využití sendvičových panelů s PIR jádrem se uplatňuje nejenom u průmyslových objektů, ale používají se jako vnější opláštění zemědělských objektů, sportovních a obchodních center, ale i administrativních budov a budov občanské vybavenosti. Montáž probíhá velice snadno díky relativně nízké hmotnosti. Zároveň velkou výhodou sendvičových panelů je jejich znovupoužití na jiné stavbě bez poškození při rozebírání. Stěnové i střešní panely se upevňují k nosným konstrukcím za pomoci systémových šroubů, které se mohou lišit v závislosti na materiálu, ke kterému se panel připevňuje. Již od výrobce jsou na jednotlivých panelech vytvořeny zámky, které zajišťují těsné spojení jednotlivých panelů. ^[102]

1 m² PIR desek v tloušťce 100 mm lze na českém trhu pořídit za 455 Kč bez DPH. ^[103]

4.1.7 Calostat

Německá společnost Evonik představila v roce 2013 nový izolační materiál s názvem Calostat. Jedná se materiál vyrobený z oxidu křemičitého a dle chemického složení je to materiál podobný nosným jádrům vakuových izolací. ^[104]



Obrázek 32: Tepelně izolační panel Calostat

Tato relativně nová izolace je díky svému složení hydrofobní, zároveň je ale paropropustná. Minerální složení zajišťuje její zdravotní nezávadnost, jelikož odolává tvorbě plísní a hub. Velkou předností je její zařazení do třídy reakce na oheň A2. Jedná se tedy o nehořlavý materiál, který nepotřebuje žádné dodatečné retardéry hoření. Dle společnosti se jedná o velmi odolný materiál, který lze používat minimálně 50 let, aniž by došlo k poklesu jeho vlastností. V neposlední řadě je nutné zmínit jeho tepelnou vodivost. Součinitel tepelné vodivosti λ Calostatu je roven 0,019 W/m·K. Což ho řadí mezi materiály s dobrými tepelnými izolačními vlastnostmi. Hodnota faktoru difúzního odporu μ u Calostatu pak má hodnotu 6. ^[104]

Díky svým schopnostem je Calostat vhodný jako dodatečná tepelná izolace při renovaci starých budov. Lze jej aplikovat jako fasádní izolace či izolace střech. Je také vhodný na místa, která jsou poměrně náročná na aplikaci izolace, jako jsou vikýře, svody, dvouvrstvé cihlové stěny či žaluziové kaslíky. ^{[105] [106] [107]}

Další výhodou tohoto materiálu se týká životního prostředí a udržitelnosti. Calostat lze 100 % recyklovat. Zároveň jej lze velice snadno sejmut z původních objektů a aplikovat na objekty nové. ^[106]

Calostat je v dnešní době značka, proto není divu, že je k dostání mnoho podskupin této izolace. Jedná se například o Calostat® Sandwich, Calostat® Pure nebo Calostat® Pad ^{[107] [108]}

4.1.8 SuperFOIL

SuperFoil je izolace vyráběná společností Scaffmont s.r.o. ve Velké Británii. Jedná se o revoluční produkt, který funguje na principu odrazu. Tato izolace je schopna odrazit 95 % tepla či chladu. Do interiéru tak prostoupí pouze 5 % energie, což znamená, že si vnitřní prostředí udržuje poměrně stálou teplotu. ^[109]

Společnost vyrábí jednovrstvé izolace s označením SFTV a SFBB, které zaručují ochranu interiéru proti nadměrnému teplu či chladu. Předně se ale zaměřuje na produkci vícevrstevných izolací. Dle označení obsahují tyto izolace několik vrstev izotermických hliníkových fólií, na vnějších vrstvách se nachází reflexní fólie a uvnitř produktu je několik vrstev termoizolační výplně. ^[109]



Obrázek 33: SuperFOIL SF19 FR

Vícevrstvé fólie jsou schopny ochránit stavbu před všemi třemi druhy přenosu tepla – proudění, vedení a sálání. U proudění dochází ke stoupání teplého vzduchu směrem vzhůru a následně prostupu z interiéru do exteriéru prostřednictvím střechy a stěn. U vedení dochází k přenosu tepla mezi chladnějším a teplejším tělesem. Proto vyprodukované teplo v interiéru prostupuje skrz chladnější podlahu ven do země. Sálání tepla funguje díky infračerveným paprskům a i to dokáže vícevrstvá izolace SuperFOIL eliminovat. ^[110]

V České republice lze sehnat několik typů izolace SuperFOIL. Jedná se například o řadu parotěsných izolací, kam se řadí typ SF6, SF19+, SF40 a SFTV. Zároveň společnost Scaffmont s.r.o. vytvořila paropropustnou řadu, kde je k dostání SF19BB, SF40BB a SFBB. Další skupinou jsou izolace se zvýšenou protipožární odolností, kam spadá izolace SFNC, SF19FR, SF40FR, SF60FR a SFTV1L. Pro podlahy vyvinula společnost speciální izolaci s označením SFUF, která je mimo jiné schopna snižovat hluk, takže poslouží i jako kročejová izolace. ^[111]

Součinitel tepelné vodivosti λ celého souvrství může dosáhnout až k hodnotě 0,025 W/m·K. Tato hodnota závisí na konkrétním typu izolace. Další vlastností SuperFOIL je její zvuková izolace. Konkrétně typ SFUF je schopný snížit nárazový hluk až na 22 dB. Řada s protipožární ochranou SuperFOIL FR se řadí do třídy reakce na oheň A1. Tato vlastnost je díky tomu, že vnější reflexní fólie obsahují skleněná vlákna. Vlastnost, kterou mají všechny řady, je jejich vysoká životnost. Výrobce deklaruje životnost minimálně 50 let a následně je možno tento materiál zrecyklovat. Jak již bylo zmíněno výše, SuperFOIL má paropropustnou a parotěsnou řadu. Paropropustná izolace SF40BB má faktor difúzního odporu μ roven 0,307, zatímco parotěsná izolace SFTV má faktor difúzního odporu μ roven 240 000. ^{[111] [112] [113]}

SuperFOIL je vhodná izolace šikmých i rovných střech, zděných stěn i stěn dřevostaveb, betonových a dutých podlah. Najde využití i jako izolace technologií jako jsou rozvody teplé užitkové vody, ústředního vytápění, vzduchotechnika či akumulční nádrže, ale lze ji použít i jako zateplení karavanů, mobilheimů a dodávek. ^{[114] [115]}

Montáž je velice snadná. Izolace SuperFOIL se upevňuje pomocí galvanizovaných nebo nerezových sponek přímo na stavební prvek. Následně je vhodné všechny spoje překrýt páskou. V případě, že se izolace používá jako podlahová, lze ji jednoduše položit na suchý, hladký a čistý povrch pod podlahové topení, je-li instalováno. Následně se na SuperFOIL aplikuje anhydrit či betonový potěr. Vzhledem k povrchové úpravě izolace je nutné dbát na bezpečnost zraku při aplikaci ve venkovních prostorech. K montáži není potřeba žádných speciálních pomůcek. Jelikož je izolace dodávána v rolích, je zapotřebí pouze nůž či nůžky, kterými se bude izolace upravovat na požadované rozměry. ^{[116] [117]}

Cena 1 m² izolace od společnosti SuperFOIL lze pořídit od 435 Kč do 1 740 Kč bez DPH. ^[112]

4.1.9 Celulózová izolace

Izolace vyrobená z celulózy je šetrná k životnímu prostředí. Jedná se totiž o materiál z celulózových vláken, která jsou obsažena například v papíru. V České republice dostupná značka ISOCELL je vyráběna konkrétně z recyklovaného jednodruhového a čistého novinového papíru. Zároveň lze celulózu po skončení jejího životního cyklu využít jako rostlinné hnojivo. ^[118]



Obrázek 34: Celulózová izolace

Součinitel tepelné vodivosti λ se u celulózové izolace pohybuje od 0,0365 W/m·K do 0,0396 W/m·K. Byť se jedná o relativně dobrý izolant, vždy je tak dobrá jako její nejslabší místo. Toto pochopitelně platí o každé izolaci. Nicméně výhodou této izolace je to, že se jedná o foukanou izolaci, což umožňuje vyplnit i sebemenší mezery. ^{[118] [119]}

Vzhledem k primární složce této izolace, novinovému papíru, se jedná přirozeně o hořlavý materiál. Při výrobě je tedy nutné dodat do směsi zpomalovače hoření, tzv. retardéry. Dle přidaných zpomalovačů hoření se pak řadí do třídy reakce na oheň B – E. Může být však nebezpečná z hlediska doutnání. Zároveň je celulózová izolace schopna opětovně se vznítit již při 240 °C. Díky dalším obsaženým příměsím jako jsou boritany, je tato izolace odolná vůči plísním, houbám, hmyzu a hlodavcům. ^{[120] [121] [122]}

Důležitým aspektem tohoto materiálu, se kterým se musí při návrhu a provádění počítat, je jeho sesednutí, které může být i 20 %. Například skelná foukaná vlna má při správné instalaci pouze 2 % sesednutí. ^[120]

Další vlastností celulózové izolace je nízký faktor difúzního odporu μ . Ten dosahuje hodnot 1 – 2. Jedná se tedy o paropropustný materiál. Díky svému složení má celulóza schopnost navázat na sebe vlhkost a dle stavu okolního prostředí ji uvolnit ven. Například v létě, kdy je okolní teplota vysoká, umí celulóza nahromaděnou vlhkost uvolnit a tak ochladit interiér domu. Tato vlastnost však může mít i negativní dopad a to ten, že absorbovaná vlhkost může snižovat účinnost obsažených retardérů hoření izolace. ^{[120] [123]}

Tento typ izolace je převážně vhodný na izolaci stěn dřevostaveb, šikmých střech, stropů i podlah. Obecně při montáži jakékoliv foukané izolace se používá stroj vybavený hadicí s tryskou. Samotný stroj je umístěn venku na nákladním automobilu a obsluhuje jej pracovník, který vkládá izolaci do zásobníku stroje a kontroluje intenzitu proudění vzduchu. Rychlost proudění vzduchu je zásadní pro správnou instalaci. Ta se provádí buď objemovým plněním předem připravených dutin, nebo takzvaným volným foukáním. ^[123]
^[125]

Cena 1 m² foukané celulózové izolace v tloušťce 100 mm se v České republice pohybuje od 90 Kč bez DPH v závislosti na sklonu konstrukce. ^[126]

4.2 Zhodnocení vybraných tepelných izolací

Z hlediska tepelné účinnosti jsou aerogel a vakuové izolace bezpochyby nejlepšími volbami, avšak je třeba zvážit jejich vysoké náklady. Aerogel sice poskytuje extrémně nízkou tepelnou vodivost a minimální tloušťku, což je ideální pro situace, kde je prostor omezený, ale jeho cena ho činí nedostupným pro většinu projektů. Stejně tak vakuové izolace nabízejí vynikající tepelnou ochranu za relativně vysokou cenu. Zároveň u vakuových izolací je zapotřebí speciální instalace, která vyžaduje speciální technické postupy, což může být též problematické.

Fenolická pěna, PUR, PIR, pěnové sklo a SuperFOIL jsou vynikající volby z hlediska instalace a dobré tepelné ochrany. Fenolická pěna je odolná vůči vlhkosti, má vysokou tepelnou účinnost a má dobré vlastnosti z hlediska hoření. PUR a PIR pěna jsou cenově dostupné a snadno se instalují. Pěnové sklo je také cenově dostupné a odolné vůči vlhkosti a hoření, ačkoli jeho tepelná účinnost je o něco nižší.

SuperFOIL je moderní multivrstvá izolační fólie, která je snadno přizpůsobitelná a její instalace je jednoduchá. Tato fólie kombinuje několik vrstev, které efektivně izolují teplo a zabraňují jeho úniku. Jedná se o výhodnou volbu pro ty, kteří hledají jednoduchou instalaci a solidní tepelnou ochranu.

Pokud je kladen důraz na ekologickou možnost, vhodnou volbou je celulózová izolace, která je vyrobena z recyklovaných papírových produktů. Je to cenově dostupná a ekologicky šetrná alternativa, i když její instalace může být složitější než u jiných materiálů.

Calostat představuje netradiční přístup k izolaci. Jedná se o minerální izolaci s vynikající tepelnou odolností a nízkou tepelnou vodivostí. Zároveň se jedná o 100 % recyklovatelný materiál, takže je i vhodnou volbou z hlediska životního prostředí.

Každá z těchto izolací má své místo v závislosti na specifických potřebách a omezeních projektu. Je důležité pečlivě zvážit vlastnosti každého materiálu a vybrat ten, který nejlépe splňuje požadavky dané situace.

5. Praktická část diplomové práce

5.1 Posouzení vybraných detailů zateplení styku stěna – strop – stěna v programu Area 2017 EDU

5.1.1 Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – polystyren EPS 70F

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **D.1.1.1. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné
izolace - EPS 70F**

Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 2023/2024

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C

Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 47

Počet vodorovných os: 47

Počet prvků: 4232

Počet uzlových bodů: 2209

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000	0.03125	0.06250	0.09375	0.12500	0.15625	0.18750	0.21875	0.25000	0.28000
0.31000	0.34000	0.37000	0.40000	0.43000	0.46000	0.47500	0.48250	0.49000	0.49400
0.49800	0.50000	0.50250	0.50500	0.51000	0.51938	0.52875	0.54750	0.58500	0.62250
0.66000	0.69750	0.73500	0.77250	0.79125	0.81000	0.82000	0.83500	0.85000	0.88000
0.91000	0.92500	0.93250	0.93625	0.94000	0.94300	0.94800			

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000	0.06250	0.12500	0.18750	0.25000	0.31250	0.37500	0.43750	0.46875	0.48438
0.50000	0.50600	0.51000	0.51781	0.52563	0.54125	0.57250	0.63500	0.69750	0.72875
0.74438	0.75219	0.76000	0.76400	0.77200	0.78000	0.78400	0.79700	0.80350	0.81000
0.81200	0.81950	0.82700	0.84200	0.85700	0.86450	0.87200	0.87400	0.87800	0.88200
0.89700	0.91200	0.94200	1.05200	1.16200	1.27200	1.38200			

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	1	22	11	13
2	Skládaný strop	0.862	0.862	15	15	1	36	13	23
3	Kročejová izola	0.043	0.043	2.000	2.000	1	22	23	26

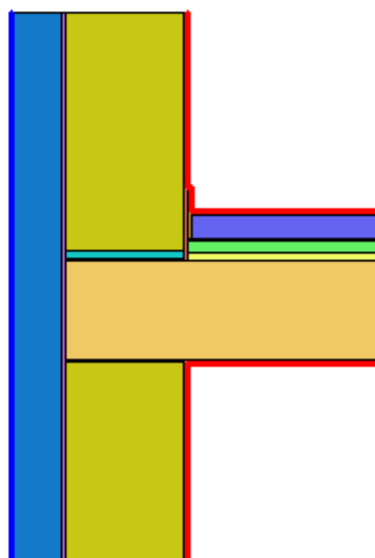
4	Tepelná izolace	0.035	0.035	50	50	1	22	26	30
5	PE folie	0.350	0.350	144000	144000	1	22	30	31
6	Betonová mazani	1.230	1.230	17	17	1	19	31	37
7	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	1	19	37	38
8	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	1	19	38	40
9	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	1	13
10	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	1	12
11	Lepící vrstva	0.570	0.570	20	20	36	37	1	47
12	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	1	47
13	Sklotextilní sí	0.470	0.470	25	25	45	46	1	47
14	Fasádní omítka	0.716	0.716	160	160	46	47	1	47
15	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	12	13
16	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	23	24
17	Zakládací malta	0.970	0.970	14	14	25	36	24	27
18	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	27	47
19	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	23	47
20	SeparáčnÍ podla	0.041	0.041	1.200	1.200	19	22	31	40
21	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	21	22	40	43
22	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	19	21	40	43

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúzního odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čísla os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čísla os ve směru osy Y vymežující zadanou oblast.

Geometrie detailu a zadané podmínky:

Počet vertík. os: 47
 Počet horizont. os: 47
 Počet prvků: 4232

Teplota	Odpor Rs
— ≤ 0	≤ 0,05
— ≤ 0	> 0,05
— > 0	≤ 0,16
— > 0	0,17-0,24
— > 0	≥ 0,25



Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	40	886	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
2	988	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
3	11	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
4	886	889	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
5	889	1030	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
6	1030	1034	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
7	2163	2209	-15.00	0.04	90.0	0.15	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
-----------	-------	------------	----------	------------	-----------------	-------------------

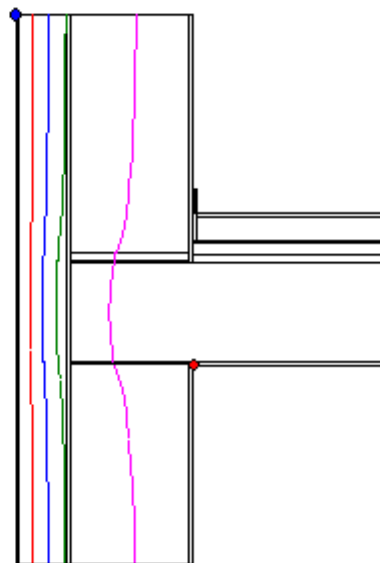
1	21.0	0.25	55	18.26	10.63157	0.29532
2	-15.0	0.04	90	-14.72	-10.63148	0.29532

Vysvětlivky:

- T zadaná teplota v daném prostředí [C]
- Rs zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m²K/W]
- R.H. zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
- Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- Tep.tok Q hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]
(hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
- Propust. L tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
(lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výseky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermy:

- -8,00 C
- -1,00 C
- 7,00 C
- 14,00 C
- Tsi=18,26 C
- Tsi=-14,72 C



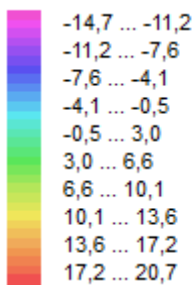
NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	11.61	18.26	0.924	ne	---	---
2	-16.13	-14.72	0.992	ne	---	---

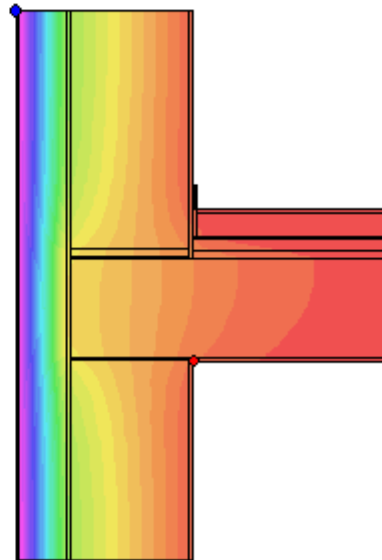
Vysvětlivky:

- Tw teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C
- Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
[rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota Te = -15.0 C]
- KOND. označuje vznik povrchové kondenzace
- RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
- T,min minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.

Teplovní pole [C]:

- ◆ Tsi=18,26 C
- ◆ Tsi=-14,72 C

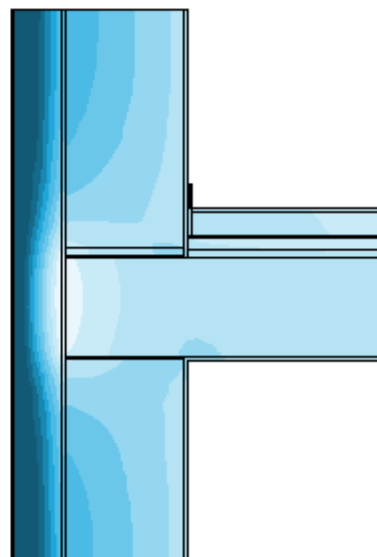
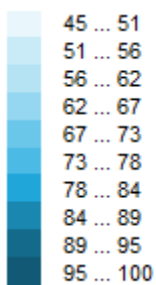
**ODHAD CHYBY VÝPOČTU:**

Součet tepelných toků: 0.0001 W/m
 Součet abs.hodnot tep.toků: 21.2630 W/m
 Podíl: 0.0000
 Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

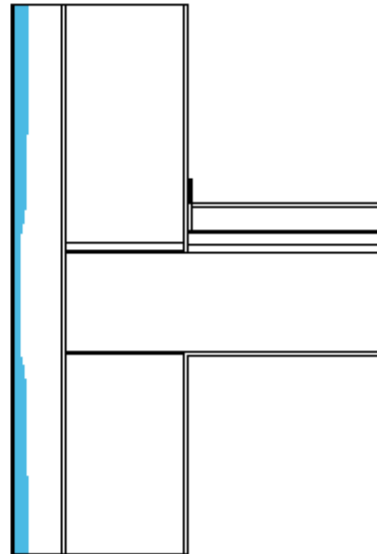
TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

Množství vstupující do konstrukce: 4.3E-0008 kg/m,s.
 Množství vystupující z konstrukce: 6.9E-0009 kg/m,s.
 Množství kondenzující vodní páry: 3.6E-0008 kg/m,s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšky detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

Rel. vlhkost [%]:

Oblast kondenzace
vodní páry v detailu



ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Zhodnocení detailu D.1.1.1. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - polystyren EPS 70F

Program Area 2017 EDU slouží ke zjištění průběhu teplotních polí a toků vodní páry prostupující navrženou konstrukcí. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2) $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,749$. Tento požadavek platí pro posouzení neprůsvitné konstrukce. Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,924$. Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

V konstrukci kondenzuje $3,6 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. vodní páry. Ke kondenzaci dochází v tepelném izolantu, který má objemovou hmotnost 25 kg/m³. Je-li objemová hmotnost materiálu, v němž dochází ke kondenzaci, nižší nebo rovna 100 kg/m³, přípustné množství zkondenzované vodní páry je rovno 6 % hmotnosti tohoto materiálu pro konstrukce s kontaktním zateplením.

$f, R_{si} > f, R_{si, N}$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Při zateplení detailu tepelnou izolací EPS 70F v tloušťce 120 mm jak v místě obvodové stěny, tak v místě stropní konstrukce, je nejvyšší vnitřní teplota rovna 18,26 °C a množství kondenzující vodní páry v tepelné izolaci je $3,6 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. Okrajové podmínky pro tento detail jsou teplota vzduchu v interiéru 21 °C, teplota vzduchu v exteriéru – 15 °C, relativní vlhkost v interiéru je 55 % a relativní vlhkost v exteriéru je 90 %.

5.1.2 Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – aerogel

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **D.1.1.2. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - aerogel**

Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 2023/2024

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C

Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 47

Počet vodorovných os: 47

Počet prvků: 4232

Počet uzlových bodů: 2209

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000	0.03125	0.06250	0.09375	0.12500	0.15625	0.18750	0.21875	0.25000	0.28000
0.31000	0.34000	0.37000	0.40000	0.43000	0.46000	0.47500	0.48250	0.49000	0.49400
0.49800	0.50000	0.50250	0.50500	0.51000	0.51938	0.52875	0.54750	0.58500	0.62250
0.66000	0.69750	0.73500	0.77250	0.79125	0.81000	0.82000	0.83500	0.85000	0.88000
0.91000	0.92500	0.93250	0.93625	0.94000	0.94300	0.94800			

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000	0.06250	0.12500	0.18750	0.25000	0.31250	0.37500	0.43750	0.46875	0.48438
0.50000	0.50600	0.51000	0.51781	0.52563	0.54125	0.57250	0.63500	0.69750	0.72875
0.74438	0.75219	0.76000	0.76400	0.77200	0.78000	0.78400	0.79700	0.80350	0.81000
0.81200	0.81950	0.82700	0.84200	0.85700	0.86450	0.87200	0.87400	0.87800	0.88200
0.89700	0.91200	0.94200	1.05200	1.16200	1.27200	1.38200			

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	1	22	11	13
2	Skládaný strop	0.862	0.862	15	15	1	36	13	23
3	Kročejeová izola	0.043	0.043	2.000	2.000	1	22	23	26
4	Tepelná izolace	0.035	0.035	50	50	1	22	26	30
5	PE folie	0.350	0.350	144000	144000	1	22	30	31
6	Betonová mazani	1.230	1.230	17	17	1	19	31	37
7	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	1	19	37	38
8	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	1	19	38	40
9	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	1	13
10	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	1	12
11	Lepící vrstva	0.570	0.570	20	20	36	37	1	47
12	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	1	12

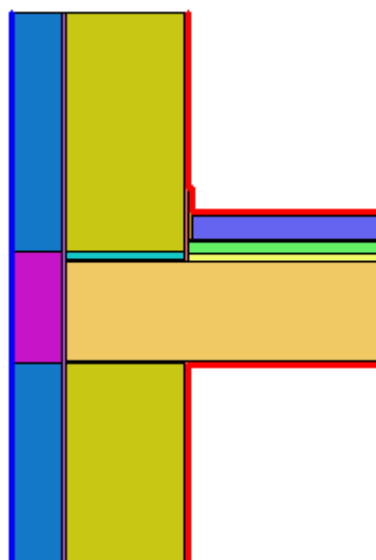
13	Sklotextilní sí	0.470	0.470	25	25	45	46	1	47
14	Fasádní omítka	0.716	0.716	160	160	46	47	1	47
15	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	12	13
16	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	23	24
17	Zakládací malta	0.970	0.970	14	14	25	36	24	27
18	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	27	47
19	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	23	47
20	Separáčnı podla	0.041	0.041	1.200	1.200	19	22	31	40
21	Lepidlo na dlař	0.570	0.570	20	20	21	22	40	43
22	Dlařba keramick	1.010	1.010	200	200	19	21	40	43
23	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	27	47
24	Aerogel	0.013	0.013	5.000	5.000	37	45	12	27

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúznıho odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čısła os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čısła os ve směru osy Y vymezející zadanou oblast.

Geometrie detailu a zadané podmínky:

Počet vertik. os: 47
Počet horizont. os: 47
Počet prvků: 4232

Teplota	Odpor Rs
— ≤ 0	≤ 0,05
— ≤ 0	> 0,05
— > 0	≤ 0,16
— > 0	0,17-0,24
— > 0	≥ 0,25



Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	40	886	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
2	988	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
3	11	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
4	886	889	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
5	889	1030	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
6	1030	1034	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
7	2163	2209	-15.00	0.04	90.0	0.15	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	21.0	0.25	55	18.82	9.31543	0.25876
2	-15.0	0.04	90	-14.87	-9.31534	0.25876

Vysvětlivky:

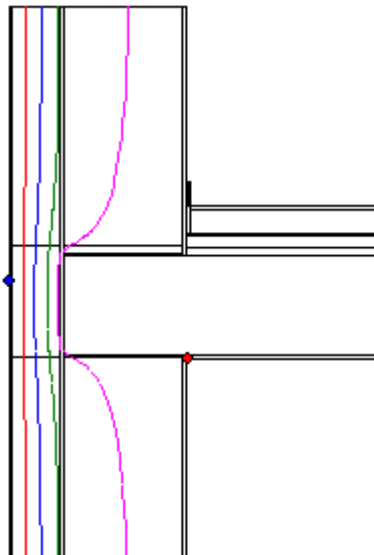
T	zadaná teplota v daném prostředí [C]
Rs	zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m2K/W]
R.H.	zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
Ts,min	minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]

Tep.tok Q hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]
 (hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
 Propust. L tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
 (lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výseky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermy:

- -8,00 C
- -1,00 C
- 7,00 C
- 14,00 C

- ◆ Tsi=18,82 C
- ◆ Tsi=-14,87 C



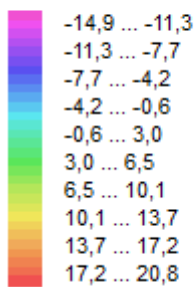
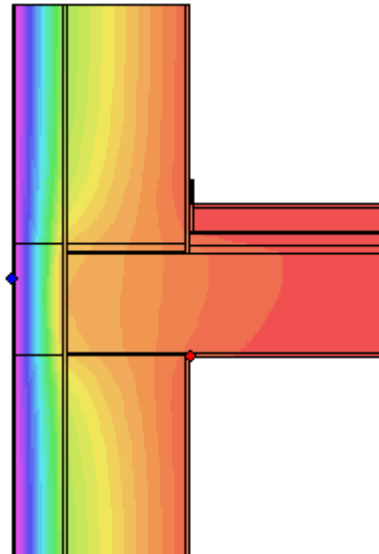
NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	11.61	18.82	0.939	ne	---	---
2	-16.13	-14.87	0.996	ne	---	---

Vysvětlivky:

- Tw teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C
- Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
 [rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota Te = -15.0 C]
- KOND. označuje vznik povrchové kondenzace
- RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
- T,min minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.

Teplotní pole [C]:♦ $T_{si}=18,82\text{ C}$ ◆ $T_{se}=-14,87\text{ C}$ **ODHAD CHYBY VÝPOČTU:**

Součet tepelných toků: 0.0001 W/m

Součet abs.hodnot tep.toků: 18.6308 W/m

Podíl: 0.0000

Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

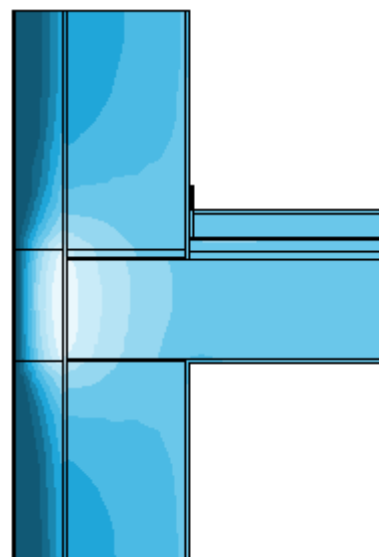
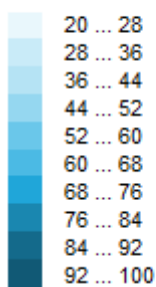
Množství vstupující do konstrukce: 4.8E-0008 kg/m,s.

Množství vystupující z konstrukce: 6.7E-0009 kg/m,s.

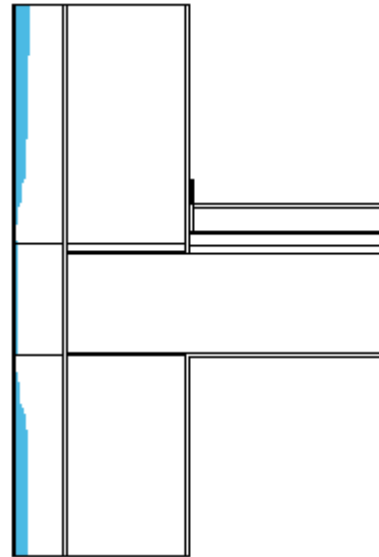
Množství kondenzující vodní páry: 4.1E-0008 kg/m,s.

Poznámka:

Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšce detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry $10 \cdot 10^{-9}$ s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry $20 \cdot 10^{-9}$ s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

Rel. vlhkost [%]:

Oblast kondenzace
vodní páry v detailu



ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Zhodnocení detailu D.1.1.2. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – aerogel

Program Area 2017 EDU slouží ke zjištění průběhu teplotních polí a toků vodní páry prostupující navrženou konstrukcí. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2) $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,793$. Tento požadavek platí pro posouzení neprůsvitné konstrukce. Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,939$. Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

V konstrukci kondenzuje $4,1 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. vodní páry. Ke kondenzaci dochází v tepelném izolantu, který má objemovou hmotnost 25 kg/m³. Je-li objemová hmotnost materiálu, v němž dochází ke kondenzaci, nižší nebo rovna 100 kg/m³, přípustné množství zkondenzované vodní páry je rovno 6 % hmotnosti tohoto materiálu pro konstrukce s kontaktním zateplením.

$f_{Rsi} > f_{Rsi,N}$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Při zateplení detailu tepelnou izolací EPS 70F v tloušťce 120 mm v místě obvodové stěny a zároveň zateplení tepelnou izolací aerogel v místě stropní konstrukce v tloušťce 120 mm je nejvyšší vnitřní teplota rovna 18,82 °C, což je o 0,56 °C více než u zateplení pouze tepelnou izolací EPS 70F. Množství kondenzující vodní páry v tepelné izolaci je $4,1 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s, což je o $0,5 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s více než u zateplení detailu pouze tepelnou izolací EPS 70F. Okrajové podmínky pro tento detail jsou teplota vzduchu v interiéru 21 °C, teplota vzduchu v exteriéru – 15 °C, relativní vlhkost v interiéru je 55 % a relativní vlhkost v exteriéru je 90 %.

5.1.3 Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – fenolická pěna

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **D.1.1.3. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - fenolická pěna**

Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 2023/2024

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C

Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 47

Počet vodorovných os: 47

Počet prvků: 4232

Počet uzlových bodů: 2209

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000	0.03125	0.06250	0.09375	0.12500	0.15625	0.18750	0.21875	0.25000	0.28000
0.31000	0.34000	0.37000	0.40000	0.43000	0.46000	0.47500	0.48250	0.49000	0.49400
0.49800	0.50000	0.50250	0.50500	0.51000	0.51938	0.52875	0.54750	0.58500	0.62250
0.66000	0.69750	0.73500	0.77250	0.79125	0.81000	0.82000	0.83500	0.85000	0.88000
0.91000	0.92500	0.93250	0.93625	0.94000	0.94300	0.94800			

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000	0.06250	0.12500	0.18750	0.25000	0.31250	0.37500	0.43750	0.46875	0.48438
0.50000	0.50600	0.51000	0.51781	0.52563	0.54125	0.57250	0.63500	0.69750	0.72875
0.74438	0.75219	0.76000	0.76400	0.77200	0.78000	0.78400	0.79700	0.80350	0.81000
0.81200	0.81950	0.82700	0.84200	0.85700	0.86450	0.87200	0.87400	0.87800	0.88200
0.89700	0.91200	0.94200	1.05200	1.16200	1.27200	1.38200			

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	1	22	11	13
2	Skládaný strop	0.862	0.862	15	15	1	36	13	23
3	Kročejová izola	0.043	0.043	2.000	2.000	1	22	23	26
4	Tepelná izolace	0.035	0.035	50	50	1	22	26	30
5	PE folie	0.350	0.350	144000	144000	1	22	30	31
6	Betonová mazani	1.230	1.230	17	17	1	19	31	37
7	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	1	19	37	38
8	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	1	19	38	40
9	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	1	13
10	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	1	12
11	Lepící vrstva	0.570	0.570	20	20	36	37	1	47
12	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	1	12

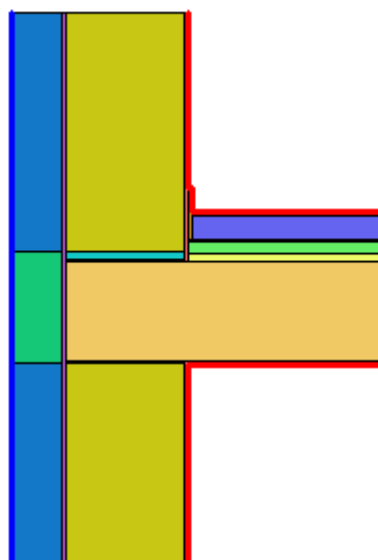
13	Sklotextilní sí	0.470	0.470	25	25	45	46	1	47
14	Fasádní omítka	0.716	0.716	160	160	46	47	1	47
15	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	12	13
16	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	23	24
17	Zakládací malta	0.970	0.970	14	14	25	36	24	27
18	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	27	47
19	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	23	47
20	Separáčnı podla	0.041	0.041	1.200	1.200	19	22	31	40
21	Lepidlo na dlař	0.570	0.570	20	20	21	22	40	43
22	Dlařba keramick	1.010	1.010	200	200	19	21	40	43
23	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	27	47
24	Fenolická pěna	0.020	0.020	35	35	37	45	12	27

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúznıho odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čısła os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čısła os ve směru osy Y vymezející zadanou oblast.

Geometrie detailu a zadané podmínky:

Počet vertik. os: 47
 Počet horizont. os: 47
 Počet prvků: 4232

Teplota	Odpor Rs
— ≤ 0	≤ 0,05
— ≤ 0	> 0,05
— > 0	≤ 0,16
— > 0	0,17-0,24
— > 0	≥ 0,25



Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	40	886	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
2	988	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
3	11	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
4	886	889	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
5	889	1030	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
6	1030	1034	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
7	2163	2209	-15.00	0.04	90.0	0.15	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:

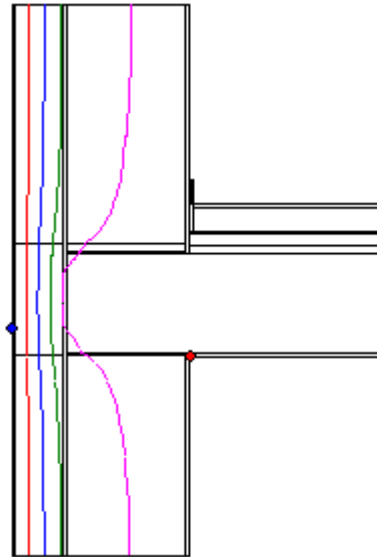
Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	21.0	0.25	55	18.66	9.69318	0.26925
2	-15.0	0.04	90	-14.81	-9.69308	0.26925

Vysvětlivky:
 T zadaná teplota v daném prostředí [C]
 Rs zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m2K/W]
 R.H. zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
 Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]

- Tep.tok Q hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]
 (hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
- Propust. L tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
 (lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výseky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermy:

- -8,00 C
 - -1,00 C
 - 7,00 C
 - 14,00 C
- ◆ Tsi=18,66 C
 - ◆ Tsi=-14,81 C



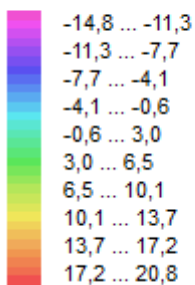
NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	11.61	18.66	0.935	ne	---	---
2	-16.13	-14.81	0.995	ne	---	---

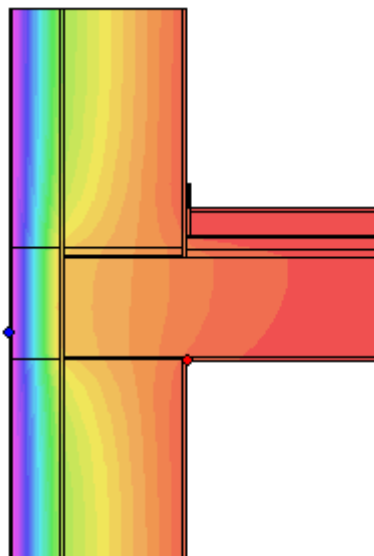
Vysvětlivky:

- Tw teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C
- Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
 [rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota Te = -15.0 C]
- KOND. označuje vznik povrchové kondenzace
- RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
- T,min minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.

Teplotní pole [C]:

- ◆ Tsi=18,66 C
- ◆ Tsi=-14,81 C

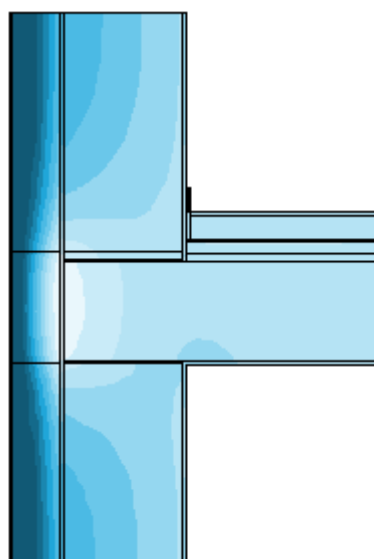
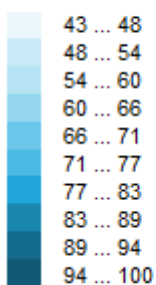
**ODHAD CHYBY VÝPOČTU:**

Součet tepelných toků: 0.0001 W/m
 Součet abs.hodnot tep.toků: 19.3863 W/m
 Podíl: 0.0000
 Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

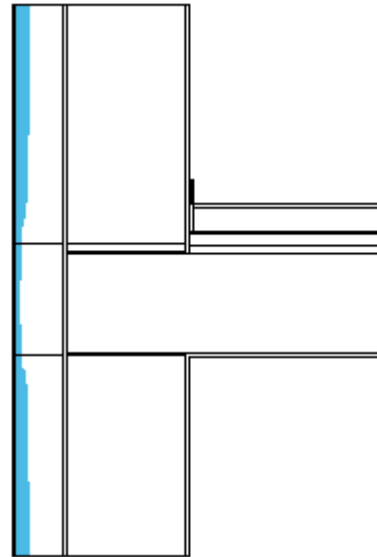
TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

Množství vstupující do konstrukce: 4.2E-0008 kg/m,s.
 Množství vystupující z konstrukce: 6.7E-0009 kg/m,s.
 Množství kondenzující vodní páry: 3.6E-0008 kg/m,s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšky detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

Rel. vlhkost [%]:

Oblast kondenzace
vodní páry v detailu



ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Zhodnocení detailu D.1.1.3. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - fenolická pěna

Program Area 2017 EDU slouží ke zjištění průběhu teplotních polí a toků vodní páry prostupující navrženou konstrukcí. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2) $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,793$. Tento požadavek platí pro posouzení neprůsvitné konstrukce. Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,935$. Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

V konstrukci kondenzuje $3,6 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. vodní páry. Ke kondenzaci dochází v tepelném izolantu, který má objemovou hmotnost 25 kg/m^3 . Je-li objemová hmotnost materiálu, v němž dochází ke kondenzaci, nižší nebo rovna 100 kg/m^3 , přípustné množství zkondenzované vodní páry je rovno 6 % hmotnosti tohoto materiálu pro konstrukce s kontaktním zateplením.

f,Rsi > f,Rsi,N ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Při zateplení detailu tepelnou izolací EPS 70F v tloušťce 120 mm v místě obvodové stěny a zároveň zateplení tepelnou izolací fenolická pěna v místě stropní konstrukce v tloušťce 120 mm je nejvyšší vnitřní teplota rovna 18,66 °C, což je o 0,40 °C více než u zateplení pouze tepelnou izolací EPS 70F. Množství kondenzující vodní páry v tepelné izolaci je $3,6 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. Jedná se o stejnou hodnotu jako u zateplení detailu pouze tepelnou izolací EPS 70F. Okrajové podmínky pro tento detail jsou teplota vzduchu v interiéru 21 °C, teplota vzduchu v exteriéru – 15 °C, relativní vlhkost v interiéru je 55 % a relativní vlhkost v exteriéru je 90 %.

5.1.4 Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – vakuová izolace

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **D.1.1.4. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - vakuová izolace**

Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 2023/2024

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C

Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 47

Počet vodorovných os: 47

Počet prvků: 4232

Počet uzlových bodů: 2209

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000	0.03125	0.06250	0.09375	0.12500	0.15625	0.18750	0.21875	0.25000	0.28000
0.31000	0.34000	0.37000	0.40000	0.43000	0.46000	0.47500	0.48250	0.49000	0.49400
0.49800	0.50000	0.50250	0.50500	0.51000	0.51938	0.52875	0.54750	0.58500	0.62250
0.66000	0.69750	0.73500	0.77250	0.79125	0.81000	0.82000	0.83500	0.85000	0.88000
0.91000	0.92500	0.93250	0.93625	0.94000	0.94300	0.94800			

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000	0.06250	0.12500	0.18750	0.25000	0.31250	0.37500	0.43750	0.46875	0.48438
0.50000	0.50600	0.51000	0.51781	0.52563	0.54125	0.57250	0.63500	0.69750	0.72875
0.74438	0.75219	0.76000	0.76400	0.77200	0.78000	0.78400	0.79700	0.80350	0.81000
0.81200	0.81950	0.82700	0.84200	0.85700	0.86450	0.87200	0.87400	0.87800	0.88200
0.89700	0.91200	0.94200	1.05200	1.16200	1.27200	1.38200			

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	1	22	11	13
2	Skládaný strop	0.862	0.862	15	15	1	36	13	23
3	Kročejová izola	0.043	0.043	2.000	2.000	1	22	23	26
4	Tepelná izolace	0.035	0.035	50	50	1	22	26	30
5	PE folie	0.350	0.350	144000	144000	1	22	30	31
6	Betonová mazani	1.230	1.230	17	17	1	19	31	37
7	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	1	19	37	38
8	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	1	19	38	40
9	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	1	13
10	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	1	12
11	Lepící vrstva	0.570	0.570	20	20	36	37	1	47
12	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	1	12

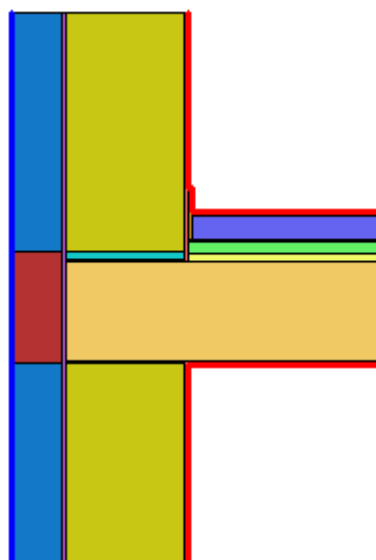
13	Sklotextilní sí	0.470	0.470	25	25	45	46	1	47
14	Fasádní omítka	0.716	0.716	160	160	46	47	1	47
15	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	12	13
16	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	23	24
17	Zakládací malta	0.970	0.970	14	14	25	36	24	27
18	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	27	47
19	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	23	47
20	Separáčnı podla	0.041	0.041	1.200	1.200	19	22	31	40
21	Lepidlo na dlař	0.570	0.570	20	20	21	22	40	43
22	Dlařba keramick	1.010	1.010	200	200	19	21	40	43
23	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	27	47
24	Vakuová izolace	0.007	0.007	5000000	5000000	37	45	12	27

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúznıho odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čísla os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čísla os ve směru osy Y vymezející zadanou oblast.

Geometrie detailu a zadané podmínky:

Počet vertik. os: 47
Počet horizont. os: 47
Počet prvků: 4232

Teplota	Odpor Rs
— ≤ 0	≤ 0,05
— ≤ 0	> 0,05
— > 0	≤ 0,16
— > 0	0,17-0,24
— > 0	≥ 0,25



Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	40	886	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
2	988	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
3	11	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
4	886	889	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
5	889	1030	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
6	1030	1034	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
7	2163	2209	-15.00	0.04	90.0	0.15	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	21.0	0.25	55	18.96	8.97620	0.24934
2	-15.0	0.04	90	-14.93	-8.97613	0.24934

Vysvětlivky:

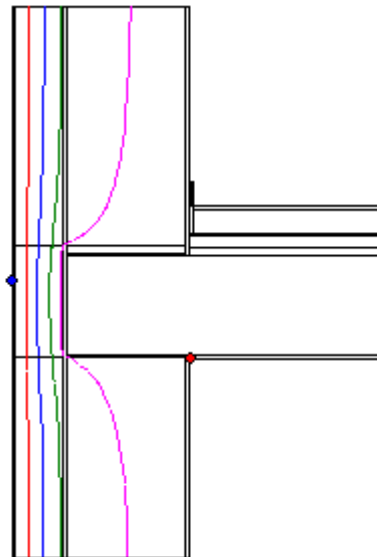
T zadaná teplota v daném prostředí [C]
Rs zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m2K/W]
R.H. zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]

- Tep.tok Q hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]
(hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
- Propust. L tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
(lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výseky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermy:

- -8,00 C
- -1,00 C
- 7,00 C
- 14,00 C

- ◆ Tsi=18,96 C
- ◆ Tsi=-14,93 C

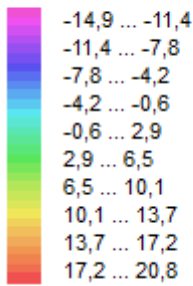
**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:**

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	11.61	18.96	0.943	ne	---	---
2	-16.13	-14.93	0.998	ne	---	---

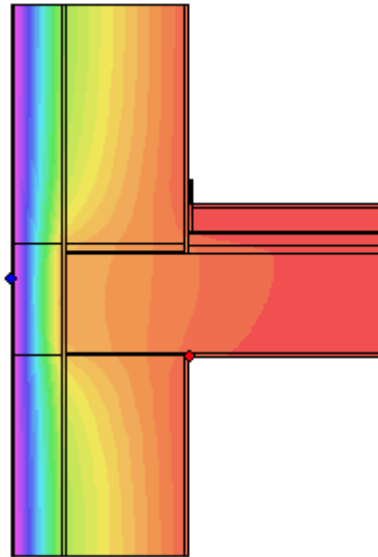
Vysvětlivky:

- Tw teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C
- Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
[rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota Te = -15.0 C]
- KOND. označuje vznik povrchové kondenzace
- RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
- T,min minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.

Teplotní pole [C]:

- ◆ Tsi=18,96 C
- ◆ Tsi=-14,93 C

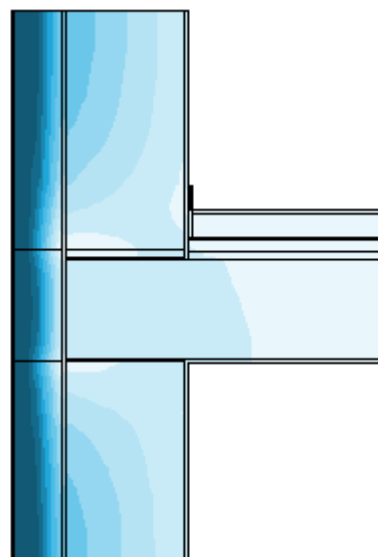
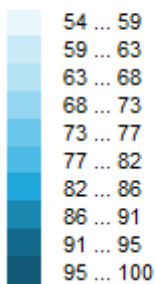
**ODHAD CHYBY VÝPOČTU:**

Součet tepelných toků: 0.0001 W/m
 Součet abs.hodnot tep.toků: 17.9523 W/m
 Podíl: 0.0000
 Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

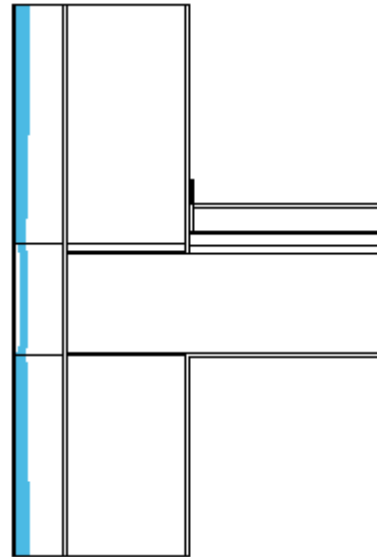
TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

Množství vstupující do konstrukce: 3.8E-0008 kg/m,s.
 Množství vystupující z konstrukce: 5.5E-0009 kg/m,s.
 Množství kondenzující vodní páry: 3.2E-0008 kg/m,s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšky detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

Rel. vlhkost [%]:

Oblast kondenzace
vodní páry v detailu



ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Zhodnocení detailu D.1.1.4. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - vakuová izolace

Program Area 2017 EDU slouží ke zjištění průběhu teplotních polí a toků vodní páry prostupující navrženou konstrukcí. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2) $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,793$. Tento požadavek platí pro posouzení neprůsvitné konstrukce. Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,943$. Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

V konstrukci kondenzuje $3,2 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. vodní páry. Ke kondenzaci dochází v tepelném izolantu, který má objemovou hmotnost 25 kg/m³. Je-li objemová hmotnost materiálu, v němž dochází ke kondenzaci, nižší nebo rovna 100 kg/m³, přípustné množství zkondenzované vodní páry je rovno 6 % hmotnosti tohoto materiálu pro konstrukce s kontaktním zateplením.

$f_{Rsi} > f_{Rsi,N}$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Při zateplení detailu tepelnou izolací EPS 70F v tloušťce 120 mm v místě obvodové stěny a zároveň zateplení tepelnou izolací vakuová izolace v místě stropní konstrukce v tloušťce 120 mm je nejvyšší vnitřní teplota rovna 18,96 °C, což je o 0,70 °C více než u zateplení pouze tepelnou izolací EPS 70F. Množství kondenzující vodní páry v tepelné izolaci je $3,2 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s, což je o $0,4 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s méně než u zateplení detailu pouze tepelnou izolací EPS 70F. Okrajové podmínky pro tento detail jsou teplota vzduchu v interiéru 21 °C, teplota vzduchu v exteriéru – 15 °C, relativní vlhkost v interiéru je 55 % a relativní vlhkost v exteriéru je 90 %.

5.1.5 Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – PUR deska

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **D.1.1.5. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - PUR deska**

Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 2023/2024

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C

Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 47

Počet vodorovných os: 47

Počet prvků: 4232

Počet uzlových bodů: 2209

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000	0.03125	0.06250	0.09375	0.12500	0.15625	0.18750	0.21875	0.25000	0.28000
0.31000	0.34000	0.37000	0.40000	0.43000	0.46000	0.47500	0.48250	0.49000	0.49400
0.49800	0.50000	0.50250	0.50500	0.51000	0.51938	0.52875	0.54750	0.58500	0.62250
0.66000	0.69750	0.73500	0.77250	0.79125	0.81000	0.82000	0.83500	0.85000	0.88000
0.91000	0.92500	0.93250	0.93625	0.94000	0.94300	0.94800			

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000	0.06250	0.12500	0.18750	0.25000	0.31250	0.37500	0.43750	0.46875	0.48438
0.50000	0.50600	0.51000	0.51781	0.52563	0.54125	0.57250	0.63500	0.69750	0.72875
0.74438	0.75219	0.76000	0.76400	0.77200	0.78000	0.78400	0.79700	0.80350	0.81000
0.81200	0.81950	0.82700	0.84200	0.85700	0.86450	0.87200	0.87400	0.87800	0.88200
0.89700	0.91200	0.94200	1.05200	1.16200	1.27200	1.38200			

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	1	22	11	13
2	Skládaný strop	0.862	0.862	15	15	1	36	13	23
3	Kročejová izola	0.043	0.043	2.000	2.000	1	22	23	26
4	Tepelná izolace	0.035	0.035	50	50	1	22	26	30
5	PE folie	0.350	0.350	144000	144000	1	22	30	31
6	Betonová mazani	1.230	1.230	17	17	1	19	31	37
7	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	1	19	37	38
8	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	1	19	38	40
9	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	1	13
10	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	1	12
11	Lepící vrstva	0.570	0.570	20	20	36	37	1	47
12	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	1	12

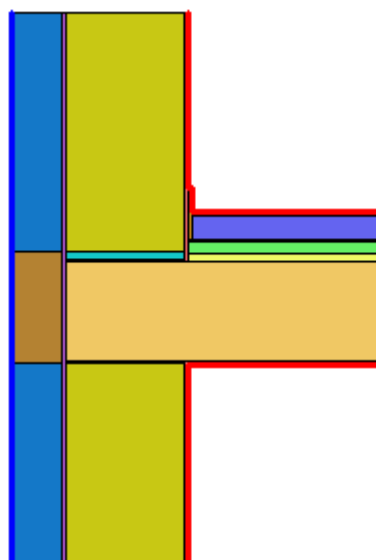
13	Sklotextilní sí	0.470	0.470	25	25	45	46	1	47
14	Fasádní omítka	0.716	0.716	160	160	46	47	1	47
15	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	12	13
16	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	23	24
17	Zakládací malta	0.970	0.970	14	14	25	36	24	27
18	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	27	47
19	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	23	47
20	Separáčnı podla	0.041	0.041	1.200	1.200	19	22	31	40
21	Lepidlo na dlař	0.570	0.570	20	20	21	22	40	43
22	Dlařba keramick	1.010	1.010	200	200	19	21	40	43
23	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	27	47
24	PUR deska	0.022	0.022	20	20	37	45	12	27

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúznıho odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čısła os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čısła os ve směru osy Y vymezející zadanou oblast.

Geometrie detailu
a zadané podmínky:

Počet vertik. os: 47
Počet horizont. os: 47
Počet prvků: 4232

Teplota	Odpor Rs
— ≤ 0	≤ 0,05
— ≤ 0	> 0,05
— > 0	≤ 0,16
— > 0	0,17-0,24
— > 0	≥ 0,25



Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	40	886	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
2	988	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
3	11	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
4	886	889	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
5	889	1030	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
6	1030	1034	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
7	2163	2209	-15.00	0.04	90.0	0.15	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	21.0	0.25	55	18.62	9.79773	0.27216
2	-15.0	0.04	90	-14.79	-9.79767	0.27216

Vysvětlivky:

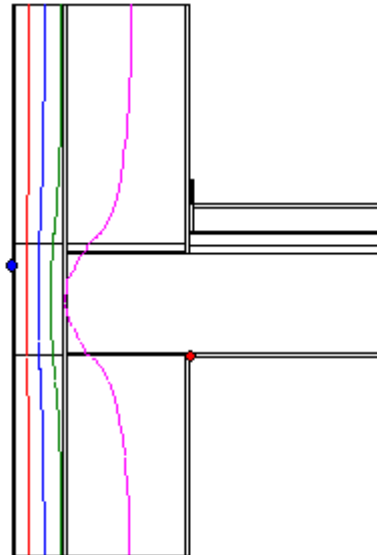
T zadaná teplota v daném prostředí [C]
Rs zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m2K/W]
R.H. zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]

- Tep.tok Q hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]
(hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
- Propust. L tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
(lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výseky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermy:

- -8,00 C
- -1,00 C
- 7,00 C
- 14,00 C

- ◆ Tsi=18,62 C
- ◆ Tsi=-14,79 C

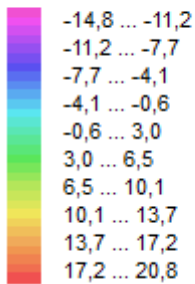
**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:**

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	11.61	18.62	0.934	ne	---	---
2	-16.13	-14.79	0.994	ne	---	---

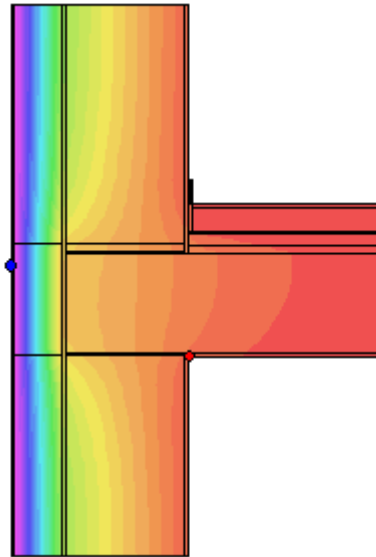
Vysvětlivky:

- Tw teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C
- Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
[rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota Te = -15.0 C]
- KOND. označuje vznik povrchové kondenzace
- RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
- T,min minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

- Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.

Teplotní pole [C]:

- ◆ Tsi=18,62 C
- ◆ Tsi=-14,79 C

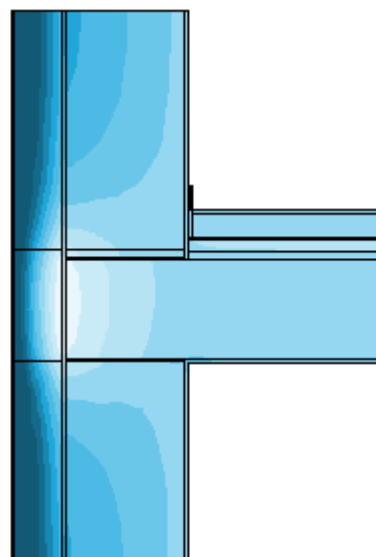
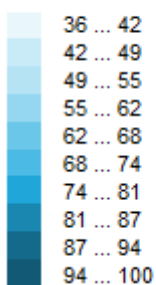
**ODHAD CHYBY VÝPOČTU:**

Součet tepelných toků: 0.0001 W/m
 Součet abs.hodnot tep.toků: 19.5954 W/m
 Podíl: 0.0000
 Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

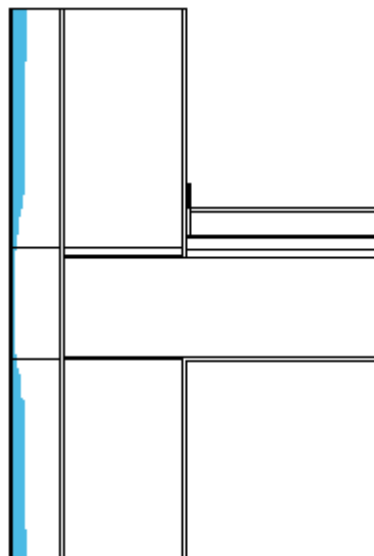
TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

Množství vstupující do konstrukce: 4.4E-0008 kg/m,s.
 Množství vystupující z konstrukce: 6.7E-0009 kg/m,s.
 Množství kondenzující vodní páry: 3.7E-0008 kg/m,s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšky detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

Rel. vlhkost [%]:

Oblast kondenzace
vodní páry v detailu



ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Zhodnocení detailu D.1.1.5. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - PUR deska

Program Area 2017 EDU slouží ke zjištění průběhu teplotních polí a toků vodní páry prostupující navrženou konstrukcí. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2) $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,793$. Tento požadavek platí pro posouzení neprůsvitné konstrukce. Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,934$. Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

V konstrukci kondenzuje $3,7 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. vodní páry. Ke kondenzaci dochází v tepelném izolantu, který má objemovou hmotnost 25 kg/m³. Je-li objemová hmotnost materiálu, v němž dochází ke kondenzaci, nižší nebo rovna 100 kg/m³, přípustné množství zkondenzované vodní páry je rovno 6 % hmotnosti tohoto materiálu pro konstrukce s kontaktním zateplením.

$f_{Rsi} > f_{Rsi,N}$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Při zateplení detailu tepelnou izolací EPS 70F v tloušťce 120 mm v místě obvodové stěny a zároveň zateplení tepelnou izolací PUR deskou v místě stropní konstrukce v tloušťce 120 mm je nejvyšší vnitřní teplota rovna 18,62 °C, což je o 0,36 °C více než u zateplení pouze tepelnou izolací EPS 70F. Množství kondenzující vodní páry v tepelné izolaci je $3,7 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s, což je o $0,1 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s více než u zateplení detailu pouze tepelnou izolací EPS 70F. Okrajové podmínky pro tento detail jsou teplota vzduchu v interiéru 21 °C, teplota vzduchu v exteriéru – 15 °C, relativní vlhkost v interiéru je 55 % a relativní vlhkost v exteriéru je 90 %.

5.1.6 Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – PIR deska

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **D.1.1.6. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - PIR deska**

Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 2023/2024

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C

Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 47

Počet vodorovných os: 47

Počet prvků: 4232

Počet uzlových bodů: 2209

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000	0.03125	0.06250	0.09375	0.12500	0.15625	0.18750	0.21875	0.25000	0.28000
0.31000	0.34000	0.37000	0.40000	0.43000	0.46000	0.47500	0.48250	0.49000	0.49400
0.49800	0.50000	0.50250	0.50500	0.51000	0.51938	0.52875	0.54750	0.58500	0.62250
0.66000	0.69750	0.73500	0.77250	0.79125	0.81000	0.82000	0.83500	0.85000	0.88000
0.91000	0.92500	0.93250	0.93625	0.94000	0.94300	0.94800			

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000	0.06250	0.12500	0.18750	0.25000	0.31250	0.37500	0.43750	0.46875	0.48438
0.50000	0.50600	0.51000	0.51781	0.52563	0.54125	0.57250	0.63500	0.69750	0.72875
0.74438	0.75219	0.76000	0.76400	0.77200	0.78000	0.78400	0.79700	0.80350	0.81000
0.81200	0.81950	0.82700	0.84200	0.85700	0.86450	0.87200	0.87400	0.87800	0.88200
0.89700	0.91200	0.94200	1.05200	1.16200	1.27200	1.38200			

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	1	22	11	13
2	Skládaný strop	0.862	0.862	15	15	1	36	13	23
3	Kročejová izola	0.043	0.043	2.000	2.000	1	22	23	26
4	Tepelná izolace	0.035	0.035	50	50	1	22	26	30
5	PE folie	0.350	0.350	144000	144000	1	22	30	31
6	Betonová mazani	1.230	1.230	17	17	1	19	31	37
7	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	1	19	37	38
8	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	1	19	38	40
9	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	1	13
10	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	1	12
11	Lepící vrstva	0.570	0.570	20	20	36	37	1	47
12	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	1	12

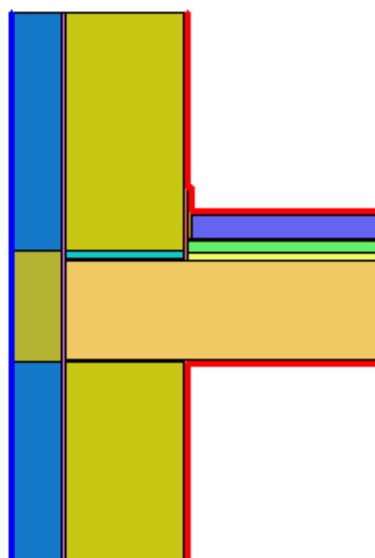
13	Sklotextilní sí	0.470	0.470	25	25	45	46	1	47
14	Fasádní omítka	0.716	0.716	160	160	46	47	1	47
15	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	12	13
16	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	23	24
17	Zakládací malta	0.970	0.970	14	14	25	36	24	27
18	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	27	47
19	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	23	47
20	SeparáčnÍ podla	0.041	0.041	1.200	1.200	19	22	31	40
21	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	21	22	40	43
22	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	19	21	40	43
23	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	27	47
24	PIR deska	0.022	0.022	60	60	37	45	12	27

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúzního odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čísla os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čísla os ve směru osy Y vymežující zadanou oblast.

Geometrie detailu a zadané podmínky:

Počet vertik. os: 47
 Počet horizont. os: 47
 Počet prvků: 4232

Teplota	Odpor Rs
— ≤ 0	≤ 0,05
— ≤ 0	> 0,05
— > 0	≤ 0,16
— > 0	0,17-0,24
— > 0	≥ 0,25



Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	40	886	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
2	988	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
3	11	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
4	886	889	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
5	889	1030	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
6	1030	1034	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
7	2163	2209	-15.00	0.04	90.0	0.15	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	21.0	0.25	55	18.62	9.79773	0.27216
2	-15.0	0.04	90	-14.79	-9.79767	0.27216

Vysvětlivky:

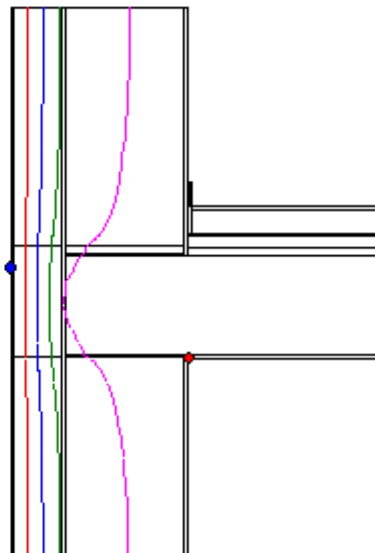
- T zadaná teplota v daném prostředí [C]
- Rs zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m2K/W]
- R.H. zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
- Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- Tep.tok Q hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]

Propust. L (hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
 tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
 (lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výseky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermy:

— -8,00 C
 — -1,00 C
 — 7,00 C
 — 14,00 C

● Tsi=18,62 C
 ● Tsi=-14,79 C

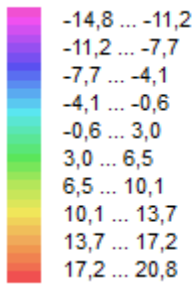
**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:**

Prostředí	T _w [C]	T _{s,min} [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T _{,min} [C]
1	11.61	18.62	0.934	ne	---	---
2	-16.13	-14.79	0.994	ne	---	---

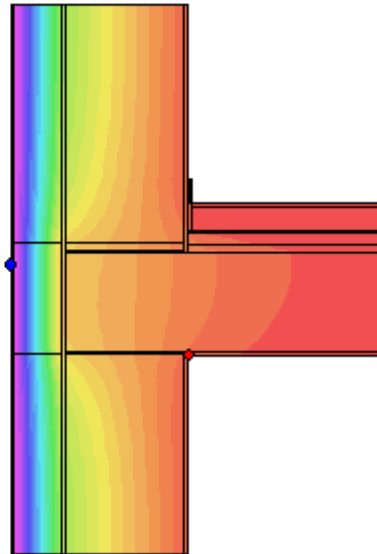
Vysvětlivky:

T_w teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C
 T_{s,min} minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
 f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
 [rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota T_e = -15.0 C]
 KOND. označuje vznik povrchové kondenzace
 RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
 T_{,min} minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.

Teplotní pole [C]:

- ◆ Tsi=18,62 C
- ◆ Tsi=-14,79 C

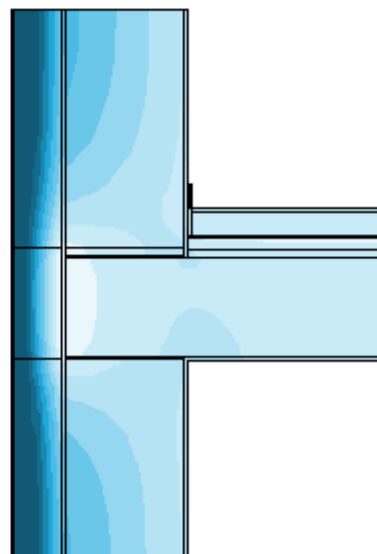
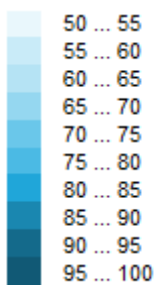
**ODHAD CHYBY VÝPOČTU:**

Součet tepelných toků: 0.0001 W/m
 Součet abs.hodnot tep.toků: 19.5954 W/m
 Podíl: 0.0000
 Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

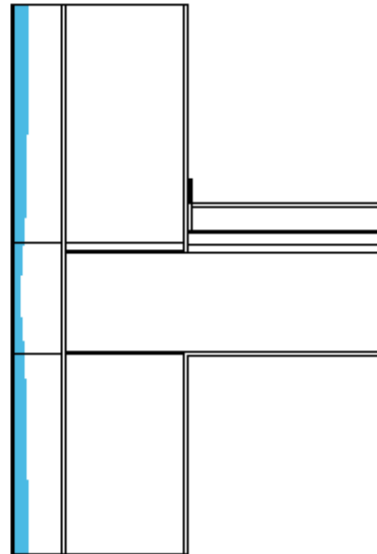
TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

Množství vstupující do konstrukce: 4.1E-0008 kg/m,s.
 Množství vystupující z konstrukce: 6.6E-0009 kg/m,s.
 Množství kondenzující vodní páry: 3.4E-0008 kg/m,s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšky detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

Rel. vlhkost [%]:

Oblast kondenzace
vodní páry v detailu



ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Zhodnocení detailu D.1.1.6. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - PIR deska

Program Area 2017 EDU slouží ke zjištění průběhu teplotních polí a toků vodní páry prostupující navrženou konstrukcí. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2) $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,793$. Tento požadavek platí pro posouzení neprůsvitné konstrukce. Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,934$. Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

V konstrukci kondenzuje $3,4 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. vodní páry. Ke kondenzaci dochází v tepelném izolantu, který má objemovou hmotnost 25 kg/m^3 . Je-li objemová hmotnost materiálu, v němž dochází ke kondenzaci, nižší nebo rovna 100 kg/m^3 , přípustné množství zkondenzované vodní páry je rovno 6 % hmotnosti tohoto materiálu pro konstrukce s kontaktním zateplením.

f,Rsi > f,Rsi,N ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Při zateplení detailu tepelnou izolací EPS 70F v tloušťce 120 mm v místě obvodové stěny a zároveň zateplení tepelnou izolací PIR deska v místě stropní konstrukce v tloušťce 120 mm je nejvyšší vnitřní teplota rovna 18,62 °C, což je o 0,36 °C více než u zateplení pouze tepelnou izolací EPS 70F. Množství kondenzující vodní páry v tepelné izolaci je $3,4 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s, což je o $0,2 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s méně než u zateplení detailu pouze tepelnou izolací EPS 70F. Okrajové podmínky pro tento detail jsou teplota vzduchu v interiéru 21 °C, teplota vzduchu v exteriéru – 15 °C, relativní vlhkost v interiéru je 55 % a relativní vlhkost v exteriéru je 90 %.

5.1.7 Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – Calostat

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **D.1.1.7. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - Calostat**

Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 2023/2024

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C

Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 47

Počet vodorovných os: 47

Počet prvků: 4232

Počet uzlových bodů: 2209

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000	0.03125	0.06250	0.09375	0.12500	0.15625	0.18750	0.21875	0.25000	0.28000
0.31000	0.34000	0.37000	0.40000	0.43000	0.46000	0.47500	0.48250	0.49000	0.49400
0.49800	0.50000	0.50250	0.50500	0.51000	0.51938	0.52875	0.54750	0.58500	0.62250
0.66000	0.69750	0.73500	0.77250	0.79125	0.81000	0.82000	0.83500	0.85000	0.88000
0.91000	0.92500	0.93250	0.93625	0.94000	0.94300	0.94800			

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000	0.06250	0.12500	0.18750	0.25000	0.31250	0.37500	0.43750	0.46875	0.48438
0.50000	0.50600	0.51000	0.51781	0.52563	0.54125	0.57250	0.63500	0.69750	0.72875
0.74438	0.75219	0.76000	0.76400	0.77200	0.78000	0.78400	0.79700	0.80350	0.81000
0.81200	0.81950	0.82700	0.84200	0.85700	0.86450	0.87200	0.87400	0.87800	0.88200
0.89700	0.91200	0.94200	1.05200	1.16200	1.27200	1.38200			

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	1	22	11	13
2	Skládaný strop	0.862	0.862	15	15	1	36	13	23
3	Kročejová izola	0.043	0.043	2.000	2.000	1	22	23	26
4	Tepelná izolace	0.035	0.035	50	50	1	22	26	30
5	PE folie	0.350	0.350	144000	144000	1	22	30	31
6	Betonová mazani	1.230	1.230	17	17	1	19	31	37
7	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	1	19	37	38
8	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	1	19	38	40
9	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	1	13
10	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	1	12
11	Lepící vrstva	0.570	0.570	20	20	36	37	1	47
12	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	1	12

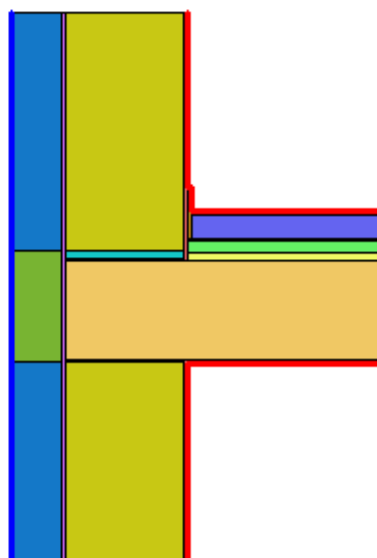
13	Sklotextilní sí	0.470	0.470	25	25	45	46	1	47
14	Fasádní omítka	0.716	0.716	160	160	46	47	1	47
15	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	12	13
16	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	23	24
17	Zakládací malta	0.970	0.970	14	14	25	36	24	27
18	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	27	47
19	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	23	47
20	Separáčnı podla	0.041	0.041	1.200	1.200	19	22	31	40
21	Lepidlo na dlař	0.570	0.570	20	20	21	22	40	43
22	Dlařba keramick	1.010	1.010	200	200	19	21	40	43
23	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	27	47
24	Calostat	0.019	0.019	6.000	6.000	37	45	12	27

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúznıho odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čısła os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čısła os ve směru osy Y vymezející zadanou oblast.

Geometrie detailu a zadané podmínky:

Počet vertik. os: 47
Počet horizont. os: 47
Počet prvků: 4232

Teplota	Odpor Rs
— ≤ 0	≤ 0,05
— ≤ 0	> 0,05
— > 0	≤ 0,16
— > 0	0,17-0,24
— > 0	≥ 0,25



Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	40	886	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
2	988	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
3	11	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
4	886	889	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
5	889	1030	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
6	1030	1034	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
7	2163	2209	-15.00	0.04	90.0	0.15	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	21.0	0.25	55	18.68	9.64035	0.26779
2	-15.0	0.04	90	-14.82	-9.64027	0.26779

Vysvětlivky:

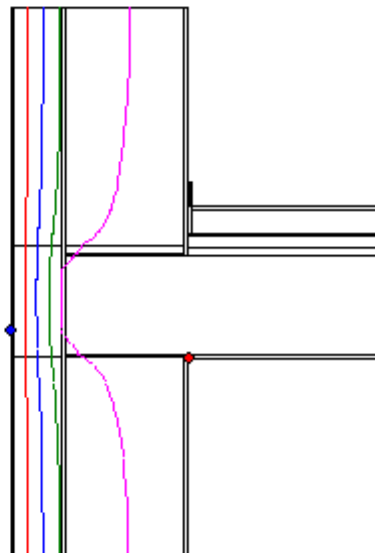
T	zadaná teplota v daném prostředí [C]
Rs	zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m2K/W]
R.H.	zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
Ts,min	minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
Tep.tok Q	hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]

Propust. L (hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
 tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
 (lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výseky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermy:

- -8,00 C
- -1,00 C
- 7,00 C
- 14,00 C

- Tsi=18,68 C
- Tsi=-14,82 C



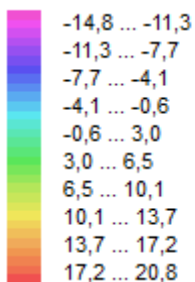
NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	T _w [C]	T _{s,min} [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T _{,min} [C]
1	11.61	18.68	0.936	ne	---	---
2	-16.13	-14.82	0.995	ne	---	---

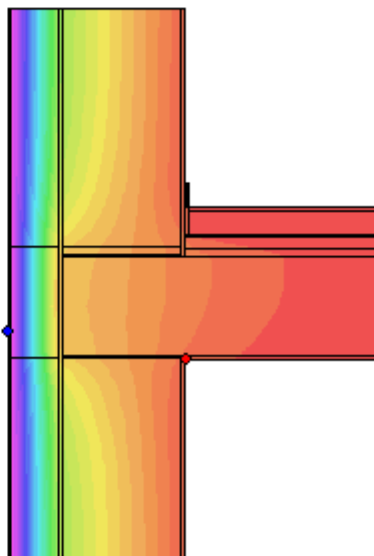
Vysvětlivky:

- T_w teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C
- T_{s,min} minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
 [rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota T_e = -15.0 C]
- KOND. označuje vznik povrchové kondenzace
- RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
- T_{,min} minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.

Teplotní pole [C]:

- ◆ Tsi=18,68 C
- ◆ Tsi=-14,82 C

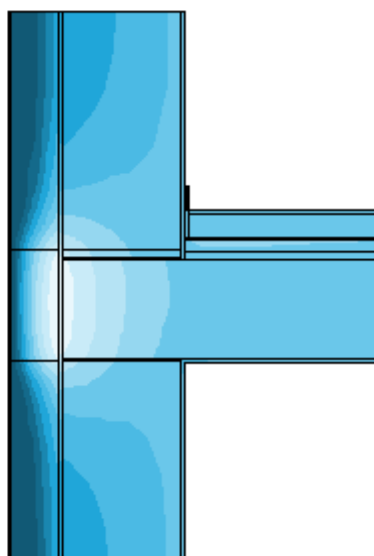
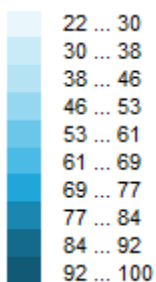
**ODHAD CHYBY VÝPOČTU:**

Součet tepelných toků: 0.0001 W/m
 Součet abs.hodnot tep.toků: 19.2806 W/m
 Podíl: 0.0000
 Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

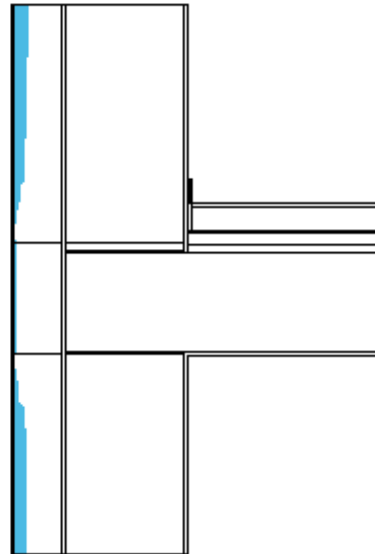
TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

Množství vstupující do konstrukce: 4.7E-0008 kg/m,s.
 Množství vystupující z konstrukce: 6.7E-0009 kg/m,s.
 Množství kondenzující vodní páry: 4.1E-0008 kg/m,s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšky detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

Rel. vlhkost [%]:

Oblast kondenzace
vodní páry v detailu



ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Zhodnocení detailu D.1.1.7. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - Calostat

Program Area 2017 EDU slouží ke zjištění průběhu teplotních polí a toků vodní páry prostupující navrženou konstrukcí. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2) $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,793$. Tento požadavek platí pro posouzení neprůsvitné konstrukce. Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,936$. Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

V konstrukci kondenzuje $4,1 \cdot 10^{-8}$ kg/m.s. vodní páry. Ke kondenzaci dochází v tepelném izolantu, který má objemovou hmotnost 25 kg/m³. Je-li objemová hmotnost materiálu, v němž dochází ke kondenzaci, nižší nebo rovna 100 kg/m³, přípustné množství zkondenzované vodní páry je rovno 6 % hmotnosti tohoto materiálu pro konstrukce s kontaktním zateplením.

f,Rsi > f,Rsi,N ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Při zateplení detailu tepelnou izolací EPS 70F v tloušťce 120 mm v místě obvodové stěny a zároveň zateplení tepelnou izolací Calostat v místě stropní konstrukce v tloušťce 120 mm je nejvyšší vnitřní teplota rovna 18,68 °C, což je o 0,42 °C více než u zateplení pouze tepelnou izolací EPS 70F. Množství kondenzující vodní páry v tepelné izolaci je $4,1 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s, což je o $0,5 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s více než u zateplení detailu pouze tepelnou izolací EPS 70F. Okrajové podmínky pro tento detail jsou teplota vzduchu v interiéru 21 °C, teplota vzduchu v exteriéru – 15 °C, relativní vlhkost v interiéru je 55 % a relativní vlhkost v exteriéru je 90 %.

5.1.8 Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – superFOIL SF 19BB

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **D.1.1.8. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - SuperFOIL SF19BB**

Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 2023/2024

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C

Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 47

Počet vodorovných os: 47

Počet prvků: 4232

Počet uzlových bodů: 2209

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000	0.03125	0.06250	0.09375	0.12500	0.15625	0.18750	0.21875	0.25000	0.28000
0.31000	0.34000	0.37000	0.40000	0.43000	0.46000	0.47500	0.48250	0.49000	0.49400
0.49800	0.50000	0.50250	0.50500	0.51000	0.51938	0.52875	0.54750	0.58500	0.62250
0.66000	0.69750	0.73500	0.77250	0.79125	0.81000	0.82000	0.83500	0.85000	0.88000
0.91000	0.92500	0.93250	0.93625	0.94000	0.94300	0.94800			

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000	0.06250	0.12500	0.18750	0.25000	0.31250	0.37500	0.43750	0.46875	0.48438
0.50000	0.50600	0.51000	0.51781	0.52563	0.54125	0.57250	0.63500	0.69750	0.72875
0.74438	0.75219	0.76000	0.76400	0.77200	0.78000	0.78400	0.79700	0.80350	0.81000
0.81200	0.81950	0.82700	0.84200	0.85700	0.86450	0.87200	0.87400	0.87800	0.88200
0.89700	0.91200	0.94200	1.05200	1.16200	1.27200	1.38200			

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	1	22	11	13
2	Skládaný strop	0.862	0.862	15	15	1	36	13	23
3	Kročejeová izola	0.043	0.043	2.000	2.000	1	22	23	26
4	Tepelná izolace	0.035	0.035	50	50	1	22	26	30
5	PE folie	0.350	0.350	144000	144000	1	22	30	31
6	Betonová mazani	1.230	1.230	17	17	1	19	31	37
7	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	1	19	37	38
8	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	1	19	38	40
9	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	1	13
10	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	1	12
11	Lepící vrstva	0.570	0.570	20	20	36	37	1	47
12	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	1	12

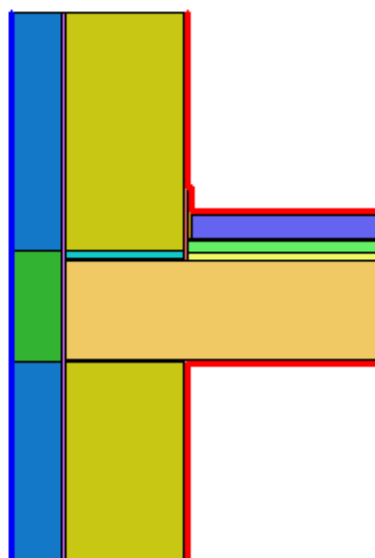
13	Sklotextilní sí	0.470	0.470	25	25	45	46	1	47
14	Fasádní omítka	0.716	0.716	160	160	46	47	1	47
15	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	12	13
16	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	23	24
17	Zakládací malta	0.970	0.970	14	14	25	36	24	27
18	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	27	47
19	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	23	47
20	SeparáčnÍ podla	0.041	0.041	1.200	1.200	19	22	31	40
21	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	21	22	40	43
22	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	19	21	40	43
23	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	27	47
24	SuperFOIL SF19B	0.026	0.026	0.575	0.575	37	45	12	27

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúzního odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čísla os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čísla os ve směru osy Y vymezející zadanou oblast.

Geometrie detailu a zadané podmínky:

Počet vertik. os: 47
 Počet horizont. os: 47
 Počet prvků: 4232

Teplota	Odpor Rs
— ≤ 0	≤ 0,05
— ≤ 0	> 0,05
— > 0	≤ 0,16
— > 0	0,17-0,24
— > 0	≥ 0,25



Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	40	886	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
2	988	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
3	11	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
4	886	889	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
5	889	1030	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
6	1030	1034	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
7	2163	2209	-15.00	0.04	90.0	0.15	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	21.0	0.25	55	18.53	10.00259	0.27785
2	-15.0	0.04	90	-14.76	-10.00253	0.27785

Vysvětlivky:

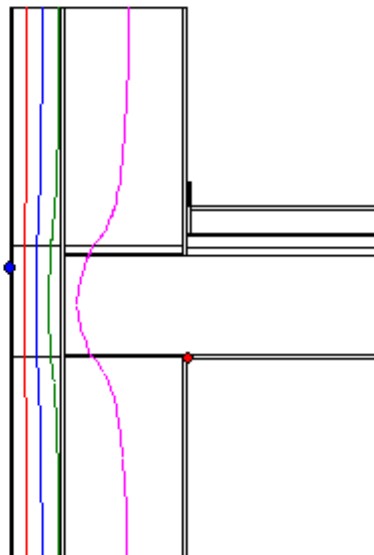
- T zadaná teplota v daném prostředí [C]
- Rs zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m2K/W]
- R.H. zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
- Ts,min minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- Tep.tok Q hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]

Propust. L (hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
 tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
 (lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výšky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermy:

- -8,00 C
- -1,00 C
- 7,00 C
- 14,00 C

- Tsi=18,53 C
- Tsi=-14,76 C



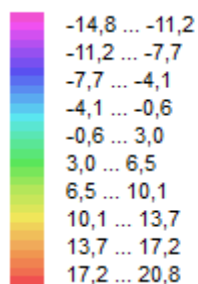
NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	T _w [C]	T _{s,min} [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T _{,min} [C]
1	11.61	18.53	0.931	ne	---	---
2	-16.13	-14.76	0.993	ne	---	---

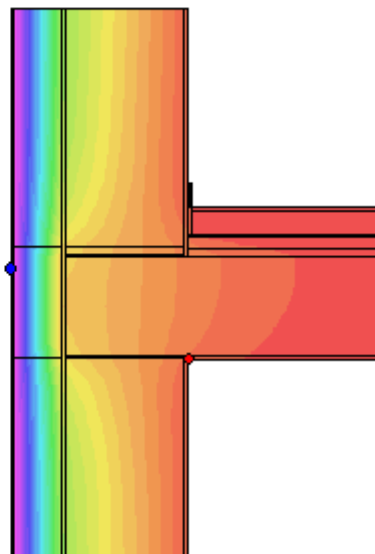
Vysvětlivky:

- T_w teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C
- T_{s,min} minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
 [rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota T_e = -15.0 C]
- KOND. označuje vznik povrchové kondenzace
- RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
- T_{,min} minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.

Teplotní pole [C]:

- ◆ Tsi=18,53 C
- ◆ Tsi=-14,76 C

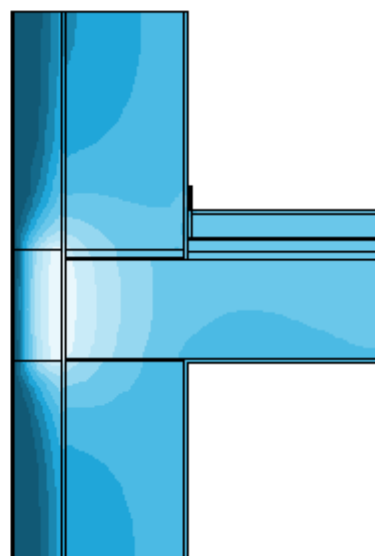
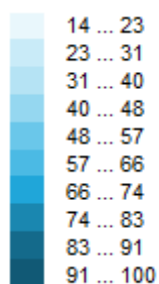
**ODHAD CHYBY VÝPOČTU:**

Součet tepelných toků: 0.0001 W/m
 Součet abs.hodnot tep.toků: 20.0051 W/m
 Podíl: 0.0000
 Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

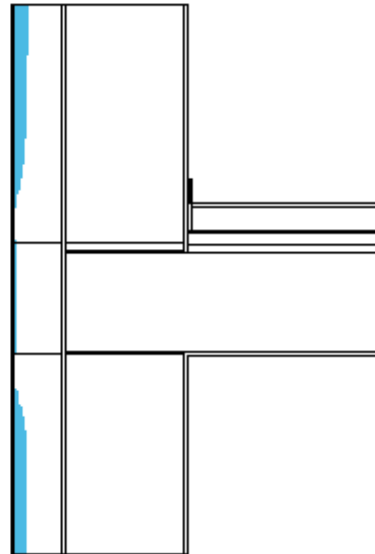
TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

Množství vstupující do konstrukce: 5.1E-0008 kg/m,s.
 Množství vystupující z konstrukce: 6.8E-0009 kg/m,s.
 Množství kondenzující vodní páry: 4.4E-0008 kg/m,s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšky detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

Rel. vlhkost [%]:

Oblast kondenzace
vodní páry v detailu



ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Zhodnocení detailu D.1.1.8. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - SuperFOIL SF19BB

Program Area 2017 EDU slouží ke zjištění průběhu teplotních polí a toků vodní páry prostupující navrženou konstrukcí. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2) $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,793$. Tento požadavek platí pro posouzení neprůsvitné konstrukce. Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,931$. Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

V konstrukci kondenzuje $4,4 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. vodní páry. Ke kondenzaci dochází v tepelném izolantu, který má objemovou hmotnost 25 kg/m³. Je-li objemová hmotnost materiálu, v němž dochází ke kondenzaci, nižší nebo rovna 100 kg/m³, přípustné množství zkondenzované vodní páry je rovno 6 % hmotnosti tohoto materiálu pro konstrukce s kontaktním zateplením.

f,Rsi > f,Rsi,N ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Při zateplení detailu tepelnou izolací EPS 70F v tloušťce 120 mm v místě obvodové stěny a zároveň zateplení tepelnou izolací SuperFOIL SF 19BB v místě stropní konstrukce v tloušťce 120 mm je nejvyšší vnitřní teplota rovna 18,53 °C, což je o 0,27 °C více než u zateplení pouze tepelnou izolací EPS 70F. Množství kondenzující vodní páry v tepelné izolaci je $4,4 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s, což je o $0,8 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s více než u zateplení detailu pouze tepelnou izolací EPS 70F. Okrajové podmínky pro tento detail jsou teplota vzduchu v interiéru 21 °C, teplota vzduchu v exteriéru – 15 °C, relativní vlhkost v interiéru je 55 % a relativní vlhkost v exteriéru je 90 %.

5.1.9 Posouzení detailu zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – celulóza

DVOUROZMĚRNÉ STACIONÁRNÍ POLE TEPLOT A ČÁSTEČNÝCH TLAKŮ VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model

Area 2017 EDU

Název úlohy : **D.1.1.9. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - celulóza**

Zpracovatel : Bc. Kristýna Fantová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 2023/2024

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Parametry pro výpočet teplotního faktoru:

Teplota vzduchu v exteriéru: -15.0 C

Teplota vzduchu v interiéru: 21.0 C

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet svislých os: 47

Počet vodorovných os: 47

Počet prvků: 4232

Počet uzlových bodů: 2209

Souřadnice os sítě - osa x [m] :

0.00000	0.03125	0.06250	0.09375	0.12500	0.15625	0.18750	0.21875	0.25000	0.28000
0.31000	0.34000	0.37000	0.40000	0.43000	0.46000	0.47500	0.48250	0.49000	0.49400
0.49800	0.50000	0.50250	0.50500	0.51000	0.51938	0.52875	0.54750	0.58500	0.62250
0.66000	0.69750	0.73500	0.77250	0.79125	0.81000	0.82000	0.83500	0.85000	0.88000
0.91000	0.92500	0.93250	0.93625	0.94000	0.94300	0.94800			

Souřadnice os sítě - osa y [m] :

0.00000	0.06250	0.12500	0.18750	0.25000	0.31250	0.37500	0.43750	0.46875	0.48438
0.50000	0.50600	0.51000	0.51781	0.52563	0.54125	0.57250	0.63500	0.69750	0.72875
0.74438	0.75219	0.76000	0.76400	0.77200	0.78000	0.78400	0.79700	0.80350	0.81000
0.81200	0.81950	0.82700	0.84200	0.85700	0.86450	0.87200	0.87400	0.87800	0.88200
0.89700	0.91200	0.94200	1.05200	1.16200	1.27200	1.38200			

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	1	22	11	13
2	Skládaný strop	0.862	0.862	15	15	1	36	13	23
3	Kročejová izola	0.043	0.043	2.000	2.000	1	22	23	26
4	Tepelná izolace	0.035	0.035	50	50	1	22	26	30
5	PE folie	0.350	0.350	144000	144000	1	22	30	31
6	Betonová mazani	1.230	1.230	17	17	1	19	31	37
7	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	1	19	37	38
8	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	1	19	38	40
9	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	1	13
10	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	1	12
11	Lepící vrstva	0.570	0.570	20	20	36	37	1	47
12	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	1	12

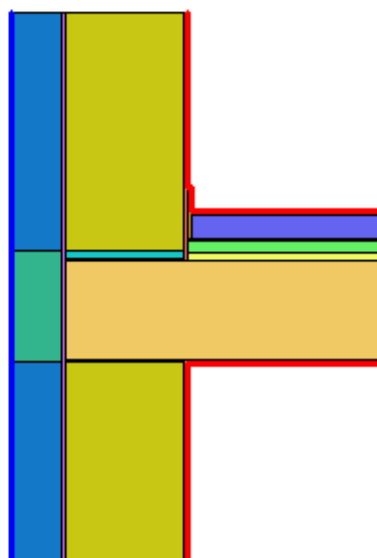
13	Sklotextilní sí	0.470	0.470	25	25	45	46	1	47
14	Fasádní omítka	0.716	0.716	160	160	46	47	1	47
15	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	12	13
16	Těžké asfaltové	0.210	0.210	1200	1200	25	36	23	24
17	Zakládací malta	0.970	0.970	14	14	25	36	24	27
18	Porotherm 30 RR	0.175	0.175	10	10	25	36	27	47
19	Omítka vápenoce	0.990	0.990	19	19	22	25	23	47
20	SeparáčnÍ podla	0.041	0.041	1.200	1.200	19	22	31	40
21	Lepidlo na dlaž	0.570	0.570	20	20	21	22	40	43
22	Dlažba keramick	1.010	1.010	200	200	19	21	40	43
23	Tepelná izolace	0.039	0.039	30	30	37	45	27	47
24	Celulóza	0.036	0.036	1.000	1.000	37	45	12	27

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou návrhové hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve W/(m.K); Mix a MiY jsou návrhové faktory difúzního odporu materiálu ve směru osy X a Y; X1 a X2 jsou čísla os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čísla os ve směru osy Y vymežující zadanou oblast.

Geometrie detailu a zadané podmínky:

Počet vertik. os: 47
Počet horizont. os: 47
Počet prvků: 4232

Teplota	Odpor Rs
— <= 0	<= 0,05
— <= 0	> 0,05
— > 0	<= 0,16
— > 0	0,17-0,24
— > 0	>= 0,25



Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	RH [%]	P [kPa]	h,p [s/m]
1	40	886	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
2	988	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
3	11	998	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
4	886	889	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
5	889	1030	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
6	1030	1034	21.00	0.25	55.0	1.37	10.00
7	2163	2209	-15.00	0.04	90.0	0.15	20.00

Poznámka: Rs je odpor při přestupu tepla na příslušném povrchu, RH je relativní vlhkost v prostředí působícím na příslušný povrch, P je částečný tlak vodní páry v prostředí působícím na daný povrch a h,p je součinitel přestupu vodní páry na příslušném povrchu.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉHO DETAILU :

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	21.0	0.25	55	18.31	10.51477	0.29208
2	-15.0	0.04	90	-14.71	-10.51468	0.29207

Vysvětlivky:

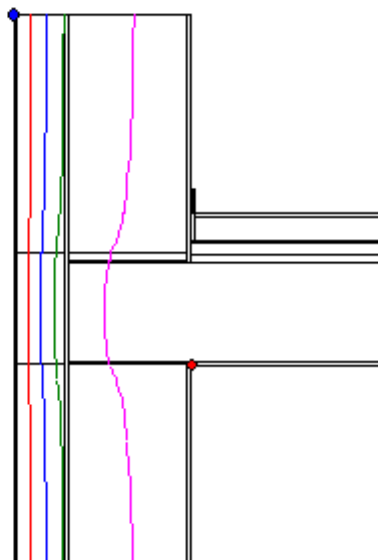
T	zadaná teplota v daném prostředí [C]
Rs	zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m2K/W]
R.H.	zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
Ts,min	minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
Tep.tok Q	hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]

Propust. L (hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
 tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]
 (lze určit jen pro maximálně 2 prostředí; pro určité charakteristické výseky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vydělením hodnoty L šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermy:

- -8,00 C
- -1,00 C
- 7,00 C
- 14,00 C

- Tsi=18,31 C
- Tsi=-14,71 C



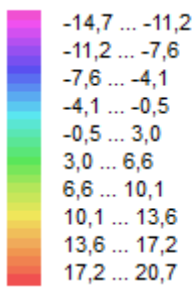
NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	T _w [C]	T _{s,min} [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T _{,min} [C]
1	11.61	18.31	0.925	ne	---	---
2	-16.13	-14.71	0.992	ne	---	---

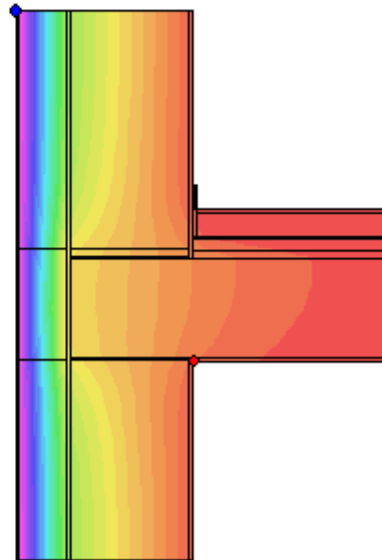
Vysvětlivky:

- T_w teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C
- T_{s,min} minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]
- f,Rsi teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]
 [rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnitřní a vnější teplotu, program nicméně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnitřní teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota T_e = -15.0 C]
- KOND. označuje vznik povrchové kondenzace
- RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
- T_{,min} minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedené vyhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu s teplotou rosného bodu v okolním prostředí.

Teplotní pole [C]:

- ◆ Tsi=18,31 C
- ◆ Tsi=-14,71 C

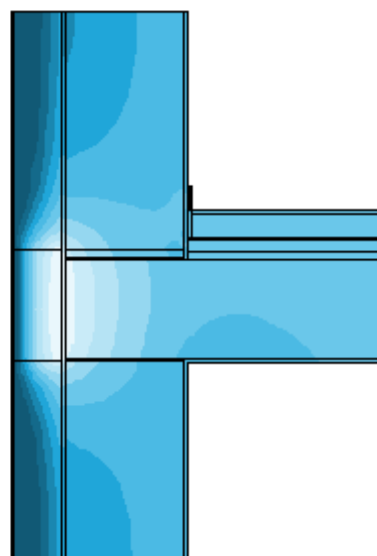
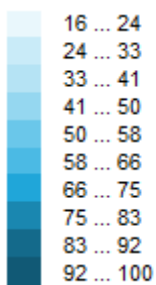
**ODHAD CHYBY VÝPOČTU:**

Součet tepelných toků: 0.0001 W/m
 Součet abs.hodnot tep.toků: 21.0294 W/m
 Podíl: 0.0000
 Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

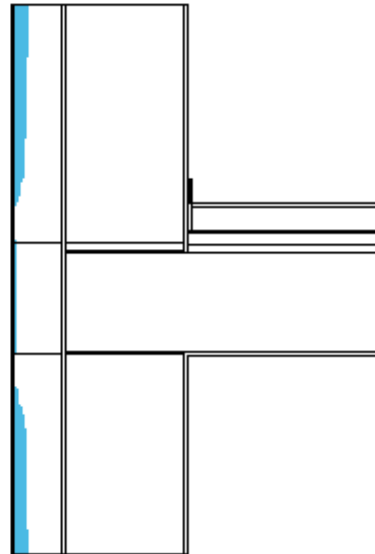
TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:

Množství vstupující do konstrukce: 5.0E-0008 kg/m,s.
 Množství vystupující z konstrukce: 6.9E-0009 kg/m,s.
 Množství kondenzující vodní páry: 4.3E-0008 kg/m,s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k 1 m výšky detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

Rel. vlhkost [%]:

Oblast kondenzace
vodní páry v detailu



ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Zhodnocení detailu D.1.1.9. Detail zateplení styku stěna - strop - stěna pomocí tepelné izolace - celulóza

Program Area 2017 EDU slouží ke zjištění průběhu teplotních polí a toků vodní páry prostupující navrženou konstrukcí. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2) $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,793$. Tento požadavek platí pro posouzení neprůsvitné konstrukce. Vypočtená hodnota: $f_{Rsi} = 0,925$. Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

V konstrukci kondenzuje $4,3 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. vodní páry. Ke kondenzaci dochází v tepelném izolantu, který má objemovou hmotnost 25 kg/m³. Je-li objemová hmotnost materiálu, v němž dochází ke kondenzaci, nižší nebo rovna 100 kg/m³, přípustné množství zkondenzované vodní páry je rovno 6 % hmotnosti tohoto materiálu pro konstrukce s kontaktním zateplením.

f,Rsi > f,Rsi,N ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Při zateplení detailu tepelnou izolací EPS 70F v tloušťce 120 mm v místě obvodové stěny a zároveň zateplení tepelnou izolací celulóza v místě stropní konstrukce v tloušťce 120 mm je nejvyšší vnitřní teplota rovna 18,31 °C, což je o 0,05 °C více než u zateplení pouze tepelnou izolací EPS 70F. Množství kondenzující vodní páry v tepelné izolaci je $4,3 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s, což je o $0,7 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s více než u zateplení detailu pouze tepelnou izolací EPS 70F. Okrajové podmínky pro tento detail jsou teplota vzduchu v interiéru 21 °C, teplota vzduchu v exteriéru – 15 °C, relativní vlhkost v interiéru je 55 % a relativní vlhkost v exteriéru je 90 %.

6. Závěr

V první části diplomové práce jsem se zaměřila na moderní přístup ke zdění stěn a to na robotické zdění. V této části práce jsem popisovala vybrané systémy, které jsou v současné době buď dostupné na trhu, nebo jsou ve vývoji. Momentálně se zdící robot Hadrian X jeví jako nejpokročilejší, jelikož je nejvíce autonomní a zároveň dokáže pracovat s vícery různými materiály. Zdící robot od Wienerbergeru sice není na takové úrovni, je ale stále ve vývoji. Právě zmiňovaný robot od Wienerbergeru je zářným příkladem, že i Česká republika je schopna konkurovat světovým gigantům v technických pokrocích a vývoji samotné robotizace.

Ve druhé části práce jsem se zabývala významem pomocných robotů ve stavebnictví a jejich rolí při zvyšování efektivity a bezpečnosti prací. Popsala jsem různé typy robotických zařízení využívaných na stavbách, jako jsou mobilní tiskárny, multifunkční robotické paže, zdvihací zařízení či vrtací roboty. Tyto technologie nejenže urychlují stavební procesy, ale také snižují riziko pracovních úrazů a zvyšují přesnost provedení. Jedná se o pomocníky, kteří prozatím najdou své uplatnění převážně u velkých projektů, jako jsou haly či administrativní budovy. V budoucnu je ale s nimi potřeba počítat i u menších staveb jako jsou rodinné domy, jelikož technologický posun je nezastavitelný.

V další části mé práce jsem se věnovala moderním tepelným izolacím, které jsou klíčovými prvky k dosažení optimální tepelné stability a energetické efektivity budov. Představila jsem různé typy izolačních materiálů, jako jsou aerogel, fenolická pěna, vakuové izolace a další, a jejich jedinečné vlastnosti. Každý z těchto materiálů má své specifické charakteristiky, které ovlivňují jejich vlastnosti v oblasti tepelné techniky, protipožární odolnosti či propustnosti vodních par. Nelze jednoznačně říct, který tepelný izolant je ten nejlepší. Je potřeba zohlednit veškeré vlastnosti daného materiálu jako celku. Například vakuové izolace jsou sice nejlepší z hlediska součinitele tepelné vodivosti λ a tím pádem se jedná o nejlepší tepelný izolant z výše uvedených, jde ale zároveň o materiál, který je z hlediska instalace nejnáročnější.

V praktické části této práce jsem se zaměřila na analýzu detailu stěna - strop - stěna pomocí programu AREA 2017 EDU. Prostřednictvím tohoto softwaru jsem simulovala tento detail s použitím různých typů tepelných izolací v oblasti stropu jakožto kritického místa. Během simulací jsem sledovala, jak se mění vnitřní teplota a množství kondenzujících vodních par v konstrukci v závislosti na použitých izolačních materiálech. Cílem bylo posoudit, jaké izolační materiály jsou nejúčinnější z hlediska tepelných ztrát a zároveň při zachování optimálních vlhkostních podmínek uvnitř budovy.

První detail (detail D.1.1.1.) byl zateplen pouze tepelnou izolací EPS 70F a právě s tímto detailem jsem porovnávala ostatní detaily, v kterých byly instalovány v oblasti stropu popisované moderní izolanty. Jako nejlepší tepelný izolant, ať už z hlediska výsledné vnitřní teploty nebo množství kondenzující páry, se ukázala vakuová izolace. Aplikace této izolace v oblasti stropu vedla k lepším hodnotám. Vnitřní teplota se zvýšila o 0,7 °C a množství kondenzující páry se snížilo o $0,4 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. Zatímco celulóza vyšla z této analýzy nejhůře. Sice se po její aplikaci vnitřní teplota také zvýšila, ale pouze o 0,05 °C, došlo ale k navýšení množství kondenzující páry o $0,7 \cdot 10^{-8}$ kg/m,s. K poměrně neuspokojivým výsledkům došlo i u aplikace materiálu SuperFOIL SF 19BB. Jedná se ale o jeden z celé řady produktů, které společnost Scaffmont s.r.o nabízí. Každá izolace od této společnosti má jiné vlastnosti, a tak i výsledky analýzy by byly odlišné při použití jiného produktu této společnosti.

Seznam použité literatury

1. FACTORY AUTOMATION: Jak to celé začalo: příběh prvního průmyslového robota [online]. [cit. 2024-02-20]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/jak-to-cele-zacalo-pribeh-prvniho-prumysloveho-robota/>
2. THEB1M: A Short History of “Bricklaying Robots” [online]. [cit. 2024-01-19]. Dostupné z: <https://www.theb1m.com/video/a-short-history-of-bricklaying-robots>
3. AUTODESK: ROBOTICS IN CONSTRUCTION [online]. [cit. 2024-01-19]. Dostupné z: <http://abcdblog.fr/wp-content/uploads/2020/02/robotics-in-construction.pdf>
4. EZIN Speciál – Tepelné izolace: Historie izolačních systémů [online]. [cit. 2024-01-19]. Dostupné z: <http://ezin-tepelne-izolace.pronasdum.cz/index.php?p=historie-izolacnich-systemu>
5. ScienceDirect: Medium Density Fibreboard [online]. [cit. 2024-01-19]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/medium-density-fibreboard>
6. BUILDWORLDS: Retooled robotic mason brings added might to sites [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://builtworlds.com/news/retooled-robotic-mason-brings-added-might-to-sites/>
7. crunchbase: Construction Robotics [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.crunchbase.com/organization/construction-robotics>
8. planswift by ConstructConnect: Semi-automated Robot – SAM100 [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.planswift.com/blog/semi-automated-robot-sam100/>
9. archdaily: New Construction Robot Lays Bricks 3 Times as Fast as Human Workers [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/779906/new-construction-robot-lays-bricks-3-times-as-fast-as-human-workers>
10. ALLPLAN A NEMETSCHKE COMPANY: The Robot That Can Lay 1,000 Bricks In An Hour [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://blog.allplan.com/en/the-robot-that-can-lay-1000-bricks-in-an-hour>
11. CONSTRUCTION ROBOTICS: BENEFITS OF SAM [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.construction-robotics.com/sam-2/>

12. FBR INNOVATION IN THE MAKING: The journey so far ... [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.fbr.com.au/view/our-story>
13. FBR INNOVATION IN THE MAKING: Dynamic Stabilisation Technology [online]. [cit. 2024-02-11]. Dostupné z: <https://www.fbr.com.au/view/dst>
14. FBR INNOVATION IN THE MAKING: The next-generation is here [online]. [cit. 2024-02-11]. Dostupné z: <https://www.fbr.com.au/view/next-gen-hadrian-x>
15. FBR INNOVATION IN THE MAKING: FAQs [online]. [cit. 2024-02-11]. Dostupné z: <https://www.fbr.com.au/view/faqs>
16. FBR INNOVATION IN THE MAKING: Robotic construction is here [online]. [cit. 2024-02-11]. Dostupné z: <https://www.fbr.com.au/view/hadrian-x>
17. dfab: Reuters TV reports on the In situ Fabricator [online]. [cit. 2024-02-26]. Dostupné z: <https://dfab.ch/news/reuters-tv-reports-on-the-in-situ-fabricator>
18. ESTAV.cz: Mobilní stavební jednotka bude lidem pomáhat, ale nenahradí je [online]. [cit. 2024-02-26]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/5713.mobilni-stavebni-jednotka-bude-lidem-pomahat-ale-nenahradi-je>
19. in: 5 Project Management Trends [online]. [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/5-project-management-trends-shape-construction-industry-patrick-page/>
20. TECHNICKÝ ČTVRTEK, FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE: Zdící robot a robotické zdění Wienerberger [online]. [cit. 2024-04-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=A1jcbpnHhE>
21. Wienerberger: Test zdícího robota v eXperience centru Jirčany [online]. [cit. 2024-04-13]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/o-nas/o-spolecnosti/novinky/test-zdiciho-robota-v-jircanech.html>
22. časopis stavebnictví: První zdící robot je v provozu [online]. [cit. 2024-04-13]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-prvni-zdici-robot-je-v-provozu.html>
23. ČVUT ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE ČESKÝ INSTITUT INFORMATIKY ROBOTIKY A KYBERNETIKY: Zdící robot jako inovátor v oblasti stavebnictví [online]. [cit. 2024-04-13]. Dostupné z: <https://www.ciirc.cvut.cz/cs/bricklaying-robot-as-an-innovator-in-the-field-of-construction/>

24. DEK: DEKMATIC – robotická výstavba budoucnosti [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/dekmatic?title=dekmatic-roboticka-vystavba-budoucnosti>
25. eBETON: Autonomní robotický stavební systém Dekmatic [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: https://www.ebeton.cz/clanky/2022_1_20_autonomni-roboticky-stavebni-system-dekmatic/
26. e15: Robot zedník. Čeští výzkumníci se snaží nahradit chybějící síly ve stavebnictví [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/domaci/robot-zednik-cesti-vyzkumnici-se-snazi-nahradit-chybejici-sily-ve-stavebnictvi-1385498>
27. Ing. Žák Antonín, Ph.D., Vedoucí výzkumu a vývoje, DEK a.s. [cit. 2024-04-20].
28. CONSTRUCTION ROBOTICS: MULE CR ML150 [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.construction-robotics.com/mule/>
29. CONSTRUCTION ROBOTICS: MULE 150 OWNERS'S MANUAL [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://5511084.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/5511084/MULE/MULE%20ML150%20Owners%20Manual%20CR005220C.pdf>
30. CONSTRUCTION ROBOTICS: Frequently Asked Questions [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.construction-robotics.com/faq/>
31. CONSTRUCTION ROBOTICS: ENGINEERED TO AMAZE, MULE CR MZ100 [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: https://www.construction-robotics.com/wp-content/uploads/2024/01/198-002_MZ100_web_brochure.pdf
32. KUKA: Pobočky KUKA [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/firma/stanovi%a1t%49b-spole%48dnosti-kuka>
33. KUKA: Historie společnosti KUKA [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/firma/o-spole%48dnosti-kuka/historie>
34. KUKA: Objevte různá automatizační řešení od společnosti KUKA [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz>
35. KUKA: Trvale udržitelné stavby: KR QUANTEC tiskne 3D fasády pro stavební firmu z Belgie [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/firma/tisk/novinky/2021/05/besix-3d>

36. KUKA: Do budoucnosti konstrukce pomocí 3D tisku pomocí stříkaného betonu [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/pr%c5%afmyslov%c3%a1-odv%c4%9btv%c3%ad/solutions-database/2020/10/aeditive#>
37. KUKA: Roboty KUKA otevírají nové možnosti robotické výroby v architektuře [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/pr%c5%afmyslov%c3%a1-odv%c4%9btv%c3%ad/solutions-database/2019/07/d%c5%99ev%c4%9bn%c3%bd-pavilon-icd-na-v%c3%bdstav%c4%9b-buga>
38. KUKA: Roboty v architektuře: Robot KUKA vyrábí díly pro pavilon na spolkové zahradní výstavě [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/pr%c5%afmyslov%c3%a1-odv%c4%9btv%c3%ad/solutions-database/2019/05/uhl%c3%adkov%c3%a1-vl%c3%a1kna-icd>
39. HROT24: BEZ METRU A TEODOLITU: ROBOT „DUSTY“ PŘEKRESLÍ PLÁNY BUDOVY ROVNOU NA PODLAHU [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.hrot24.cz/clanek/bez-metru-a-teodolitu-robot-dusty-prekresli-plany-budovy-rovnou-na-podlahu>
40. DUSTY ROBOTICS: What you see is what you build [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.dustyrobotics.com/>
41. ConstructionBRIEFING: FieldPrinter autonomous robot automates jobsite layout [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.constructionbriefing.com/news/fieldprinter-autonomous-robot-automates-jobsite-layout/8022556.article>
42. plexxis SOFTWARE: Revolutionizing Construction Layout with the DUsty FieldPrinter [online]. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://plexxis.com/revolutionizing-construction-layout-with-the-dusty-fieldprinter/>
43. THE ROBOTREPORTDusty Robotics FieldPrinter automates building layout [online]. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/dusty-robotics-fieldprinter-automates-building-layout/>
44. FORConstructionPROS.com: Dusty Robotics Launches FieldPrinter 2 Robot and FieldPrint Platform [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.forconstructionpros.com/construction->

[technology/product/22885957/dusty-robotics-dusty-robotics-launches-fieldprinter-2-robot-and-fieldprint-platform](https://www.hp.com/technology/product/22885957/dusty-robotics-dusty-robotics-launches-fieldprinter-2-robot-and-fieldprint-platform)

45. živě: Nejzvláštější tiskárna na světě. HP SitePrint vezme stavební výkres a přesně jej rozkreslí na podlahu [online]. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/nejzvlastnejsi-tiskarna-na-svete-hp-siteprint-vezme-stavebni-vykres-a-presne-jej-rozkresli-na-podlahu/sc-3-a-227023/default.aspx>
46. hp: HP TECH TAKES /... [online]. [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/what-is-hp-siteprint>
47. BuildingPoint: HP SitePrint [online]. [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.buildingpointpacific.com/robotics/hp-siteprint>
48. HILTI: Poloautonomní vrtací robot Jaibot [online]. [cit. 2024-04-10]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/content/hilti/EE/CZ/cs/business/business/trends/jaibot-semi-autonomous-drilling-robot.html>
49. HILTI: HILTI UNVEILS BIM-ENABLED CONSTRUCTION JOBSITE ROBOT [online]. [cit. 2024-04-10]. Dostupné z: <https://www.hilti.group/content/hilti/CP/XX/en/company/media-relations/media-releases/Jaibot.html#nav/close>
50. TOOLGUYD: Introducing the Hilti Jaibot, Your New Robotic Partner [online]. [cit. 2024-04-10]. Dostupné z: <https://toolguyd.com/hilti-jaibot-robotic-drilling-machine/>
51. reddit: Construction Jobsite Robot Hilti Jaibot [online]. [cit. 2024-04-10]. Dostupné z: <https://www.red-dot.org/zh/project/hilti-jaibot-52336>
52. HILTI: HILTI RELEASES ALL NEW FEATURES FOR THE HILTI JAIBOT [online]. [cit. 2024-04-10]. Dostupné z: https://www.hilti.group/content/hilti/CP/XX/en/company/media-relations/media-releases/hilti_releases_new_features_jaibot_2022.html#nav/close
53. BAUBOT: BUILDING THE FUTURE OF CONSTRUCTION [online]. [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://www.baubot.com/about>
54. BAUBOT: Construction Automation Products [online]. [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://www.baubot.com/products>
55. fischer: Baubot [online]. [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://www.fischer-international.com/en/products/innovations/baubot>

56. Porotherm Řešení pro cihelné zdivo: Porotherm 30 T Profi []. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/CZ_POR_TEC_Pth_30_T_Profi.pdf
57. tzbinfo: Součinitel prostupu tepla [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
58. tzbinfo: Budovy s téměř nulovou spotřebou energie [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie>
59. ZÁKONY PRO LIDI: Vyhláška č. 264/2020 Sb. [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-264>
60. Wienerberger: Cihla Porotherm 30 RR Profi Dryfix - Broušená [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/CZ_POR_TEC_Pth_30_RR_Profi_DF.pdf
61. isover SAINT-GOBAIN: Isover EPS 70F [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/eps/isover-eps-70f#descriptions>
62. AEROGEL.ORG: What is Aerogel [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <http://www.aerogel.org/?p=3>
63. IZOLACE - INFO: Aerogelová izolace, aerogel [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/aerogelova-izolace-aerogel/>
64. AEROGEL.ORG: Silica Aerogel [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.aerogel.org/?p=16>
65. Quark Magazín o vede a technice: Superkritické sušení je excelentná laboratórna metóda [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/chem/kag/Zam-Jesenak/clanky/pdf/08_superkriticke.pdf
66. EnviWeb: Aerogel – izolační materiál budoucnosti? [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/84815>
67. ČSN 73 0542 Způsob stanovení energetické bilance zasklení ploch obvodového pláště budov [cit. 2024-02-29].

68. PROPASIV: Technický list – PROPASIV[®] Aerogel [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: https://eshop.propasiv.cz/cu/Technicky_list-PROPASIV_Aerogel
69. PROPASIV: PROPASIV[®] Aerogel 30 mm [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://eshop.propasiv.cz/product/5-propasiv-r-aerogel-30-mm>
70. IZOLACE - INFO: Fenolická pěna. Fenolické desky PF [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/fenolicka-pena-fenolicke-desky-pf/>
71. STAVÍM BYDLÍM.CZ: Desky z fenolické pěny – nejlepší izolace? [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/desky-z-fenolicke-peny-nejlepsi-izolace/>
72. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE: Preparation and Characterization of Phenolic Foam Modified with Bio-Oil [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6266403/>
73. ScienceDirect: Phenolic foams: A review of mechanical properties, fire resistance and new trends in phenol substitution [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386118311741?fr=R-R-2&ref=pdf_download&rr=85e47ad95ae82778
74. Kingspan: Kooltherm K5 kontaktní fasádní deska, Technické informace [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/cz/cs/produkty/izolacni-desky/fasadni-izolacni-desky/kooltherm-k5/?s=t>
75. DEK: Tepelná izolace KOOLTHERM K5 30 mm (5,76 m²/bal.) [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/1421013026-kooltherm-k5-30mm-5-76m2-bal-nove>
76. Ravago building solutions: Desky z pěnového skla (blok) pěnové sklo – glapor [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://ravagobuildingsolutions.com/cz/cs/product/tepelna-izolacia-penove-sklo-glapor-dosky/>
77. PŘÍRODNÍ STAVBA: Pěnové sklo – izolace z recyklovaného skla – drť / šterk big bag 1,25 m³ / frakce 0 – 63 cm [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.prirodnistavba.cz/penove-sklo-izolace-z-recyklovaneho-skla-drt-sterk-big-bag-1-m3-4731.html>

78. tzbinfo: Pěnové sklo [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://stavba.tzbinfo.cz/tepelne-izolace/300-penove-sklo>
79. ScienceDirect: Foaming of flat glass cullet using Si₃N₄ and MnO₂ powders [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272884208003489?via%3Dihub>
80. DŘEVOSTAVITEL: Pěnové sklo: Tepelná izolace s úžasnými vlastnostmi [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/penove-sklo>
81. DŘEVO & stavby: Pěnosklo ve formě drti je ideálním tepelným izolantem pro spodní stavby [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/izolace/2098-penosklo-ve-forme-drti-je-idealnim-tepelnym-izolantem-pro-spodni-stavby>
82. FOMAGLAS®: FOAMGLAS® PERINSUL HL [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <file:///C:/Users/krist/Downloads/Prospekt%20PERINSUL-CZ.pdf>
83. zofi®: FOAMGLAS T4+ Izolační pěnové sklo – 40 mm | 450 mm x 600 mm [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: https://eshop.zofi.cz/foamglas-t4-izolacni-penove-sklo/t4-04001-40-mm-450-mm-x-600-mm/popis?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwI4yyBhAgEiwADSEjeIHball2htnDXLzN-HONRdNWfNjMbkbc74KPHvGoQIdu82QKIVGiJxoCYY4QAvD BwE
84. DŘEVOSTAVITEL: Vakuová izolace: Drahá nebo progresivní? [online]. [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/izolacni-materialy-5-dil--vakuova-izolace>
85. PROPASIV: VakuPRO Technický list [online]. [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://eshop.propasiv.cz/cu/Technicky-list-PROPASIV-VakuPRO>
86. IZOLACE - INFO: Vakuová izolace VakuPRO [online]. [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/vakuova-izolace-vip/vakupro-vakuova-izolace-p.html>
87. SIG DESIGN TECHNOLOGY: When to use VIP Insulation – Vacuum Insulated Panels [online]. [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://www.singleply.co.uk/vacuum-insulated-panel-insulation/>

88. solarenergy-shop.ch: High vakuum insulation 30mm (VIP) 0.0045 W / (m · k) [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://solarenergy-shop.ch/en/solar-heatingwarm-water/34-high-vacuum-insulation-30mm-vip-00045-w-m-k.html>
89. pcc Group: Polyuretan – materiál budoucnosti [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.products.pcc.eu/cs/blog/polyuretan-materialy-budoucnosti/>
90. tzbinfo: Vše o PUR a PIR deskách a jejich aplikaci ve stavebnictví na jednom místě [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/25915-vse-o-pur-a-pir-deskach-a-jejich-aplikaci-ve-stavbach-na-jednom-miste>
91. BEZVAIZOLACE.CZ: Co umíme? [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: https://bezvaizolace.cz/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA_5WvBhBAEiwAZtCU7ww5qps998ygwO5Nh0Yc2NYMbVNw6lfYE7fMUjoN_LTYPN6RQseQRBoChyIQAvD_BwE
92. chytrápěna: Měkká, polotvrdá a tvrdá PUR pěna – v čem je rozdíl? [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: https://www.chytrapena.cz/blog/mekka-polotvrda-a-tvrda-pur-pena-v-cem-je-rozdil?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAxaCvBhBaEiwAvsLmWEjXFZpNkLUL02_fw9w-tkbvo8EilGAcAYa3y35WTXvJzMKMza428xoCAMgQAvD_BwE
93. chytrápěna: PUR pěna a její požární odolnost [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.chytrapena.cz/blog/pur-pena-a-jeji-pozarni-odolnost>
94. tzbinfo: Izolace PUR, PIR a fenolická pěna [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/299-izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>
95. ASOCIACE VÝROBCŮ MINERÁLNÍ IZOLACE: Samozhášivá PUR pěna není nehořlavá [online]. [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: <https://www.avmi.cz/pur-peny-pozar>
96. PUR IZOLACE: Časté dotazy [online]. [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: <https://www.pur.cz/o-nas/caste-dotazy/>
97. strikaneizolace.cz: Ceník [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: http://www.strikaneizolace.cz/?page_id=24
98. PUR IZOLACE: Jaký je rozdíl mezi PUR a PIR pěnou? [online]. [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: <https://www.pur.cz/jaky-je-rozdil-mezi-pur-a-pir-penou/>

99. ISOPARTNER: PUR or PIR insulation? [online]. [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.isopartner.no/en/news/pur-or-pir-insulation>
100. panelshop.cz: Všechny důležité informace o PIR izolačních panelech [online]. [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.panelshop.cz/vsechny-dulezite-informace-o-pir-izolacnich-panelech-a-prislusenstvi/>
101. STAVÍMBYDLÍM.CZ: PUR stříkaná izolace a vše co o ní potřebujete vědět [online]. [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/pur-strikana-izolace-a-vse-co-o-ni-potrebuje-vedet/>
102. SATJAM Lehká střecha s tradicí: Sendvičové panely PIR [online]. [cit. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.satjam.cz/sendvicove-panely>
103. DEK: Tepelná izolace TOPDEK 022 PIR 100 mm (8,64 m²/bal.) [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/1421010530-topdek-022-pir-fd-100mm-8-64m2-bal-1200x2400/29>
104. baustoffwissen.de: Was ist Calostat? [online]. [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://www.baustoffwissen.de/was-ist-calostat-31102023>
105. EVONIK Leading Beyond Chemistry: Precision work in construction [online]. [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://corporate.evonik.com/en/precision-work-in-construction-885.html>
106. EVONIK Leading Beyond Chemistry: Well warmed in winter [online]. [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://corporate.evonik.com/en/well-warmed-in-winter-153188.html>
107. EVONIK Leading Beyond Chemistry: Winner of multiple awards: high-performance insulation Calostat® Sandwich [online]. [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://corporate.evonik.com/en/winner-of-multiple-awards-high-performance-insulation-calostat-sandwich-151261.html>
108. EVONIK Leading Beyond Chemistry: CALOSTAT Pad from Evonik receives single case approval for the TWIST roof of CUBE – an iconic building made of carbon reinforced concrete [online]. [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://corporate.evonik.com/en/media/press-releases/corporate/calostat-pad-from-evonik-receives-single-case-approval-for-the-twist-roof-of-cube-an-iconic-building-152422.html>

109. SuperFOIL [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.superfoil.cz/>
110. SuperFOIL Izolace: Kompletní průvodce pro stavitele, i kutily, stavební firmy, vývojáře, architekty a obchodníky [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.superfoil.cz/stazeni/instalace/ekniha.pdf>
111. SuperFOIL [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.superfoil.cz/produkty>
112. tzbinfo: Reflexní tepelná izolace SuperFOIL chrání budovu v létě i v zimě [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/21968-reflexni-tepelna-izolace-superfoil-chrani-budovu-v-lete-i-v-zime>
113. svépomocí.cz: Tepelná izolace SuperFOIL pro více než dvě generace [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.svepomoci.cz/clanek/9508-tepelna-izolace-superfoil-pro-vic-nez-dve-generace>
114. SuperFOIL: SuperFOIL je tepelná vícevrstvá reflexní izolace, která nesmí chybět na žádné stavbě [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.superfoil.cz/vyuziti>
115. ESOS: Izolace SuperFOIL [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.diagnostikastroju.cz/izolace-superfoil/>
116. SuperFOIL: Návod na instalaci – ostatní použití [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: https://www.superfoil.cz/stazeni/instalace/Instalace%20ostatni_2022_cz.pdf
117. SuperFOIL: Návod na instalaci – podlaha [online]. [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: https://www.superfoil.cz/stazeni/instalace/Install_SFUF_Flyer.pdf
118. ISOCELL: Celuloza [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.isocell.com/cs/celuloza>
119. www.ekoizolace.cz: Foukané izolace: Co je celulózová izolace? [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.ekoizolace.cz/co-je-celulozova-izolace/>
120. ASOCIACE VÝROBCŮ MINERÁLNÍ IZOLACE: Srovnání celulózové izolace a skelné vaty [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.avmi.cz/srovnani-vata-celuloza>
121. ŠEVČÍK OKNA: Foukaná celulózová izolace [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.okna-sevcik.cz/foukana-tepelna-izolace/celulozova/>

122. tzbinfo: Izolace z obnovitelných surovin (dřevo, celulóza, konopí, ovčí vlna, sláma) [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/301-izolace-z-obnovitelnych-surovin-drevo-celuloza-konopi-ovci-vlna-slama>
123. ČESKÉSTAVBY.cz: Která tepelná izolace si poradí s vlhkostí a plísní [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/ktera-tepelna-izolace-si-poradi-s-vlhkosti-a-plisni-27940.html>
124. FOUKANÁ TEPELNÍ IZOLACE: Foukaná celulóza [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.foukana-izolace-ostrava.cz/foukana-celuloza/>
125. STAVÍMBYDLÍM.CZ: Foukaná izolace – cena za celulóзовou, polystyrenovou, minerální a dřevovláknitou foukanou izolaci [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/foukana-izolace-cena-za-celulozovou-polystyrenovou-mineralni-a-drevovlaknitou-foukanou-izolaci/>
126. ENROLL.CZ: Cena foukané tepelné a akustické izolace z celulózy [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.enroll.cz/cs/cenik-foukane-izolace-i-vyrobku-z-polystyrenu/>

Seznam výkresů

D.1.1.1. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – EPS 70F

D.1.1.2. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – aerogel

D.1.1.3. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – fenolická pěna

D.1.1.4. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – vakuové izolace

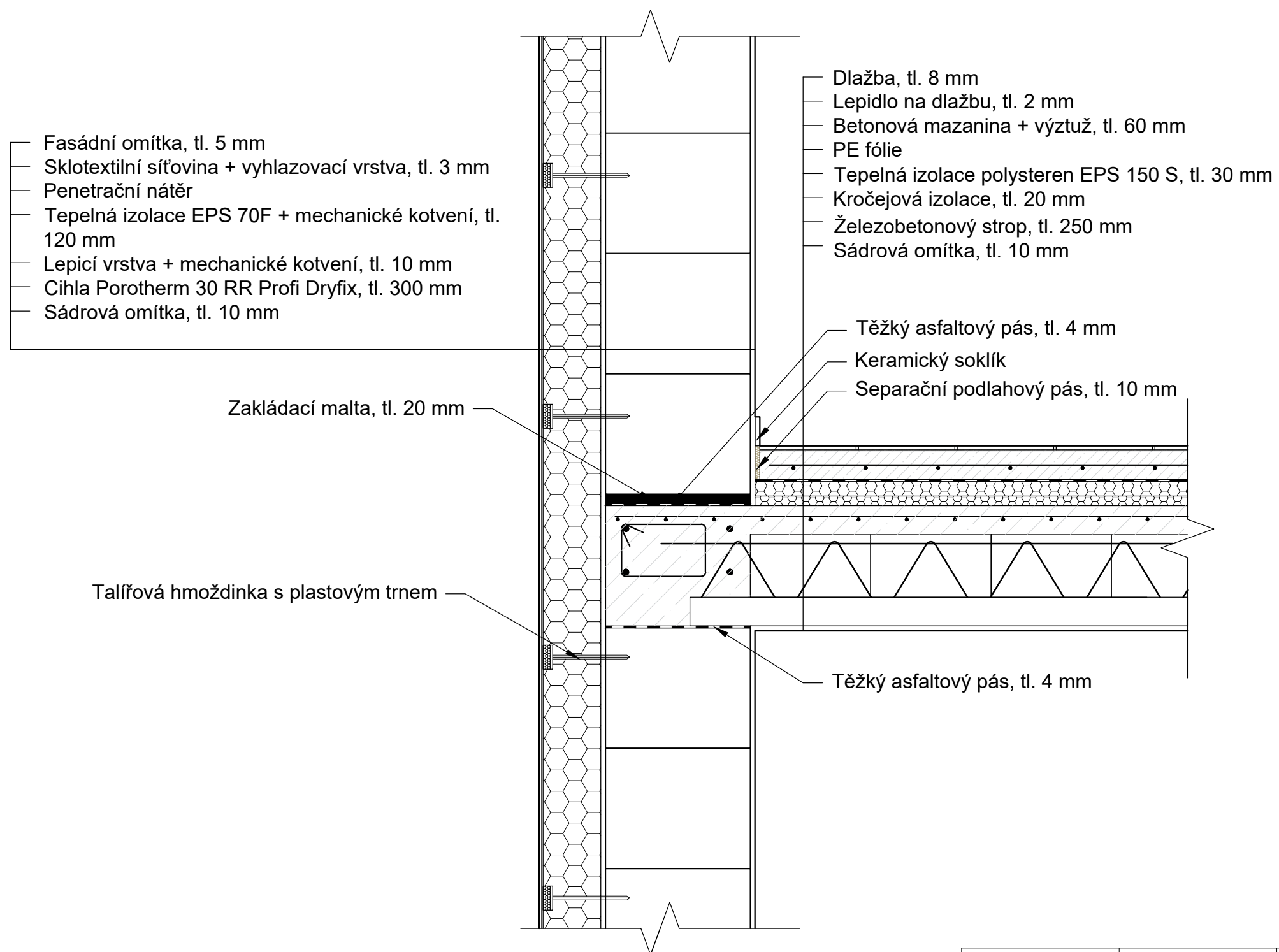
D.1.1.5. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – PUR deska

D.1.1.6. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – PIR deska

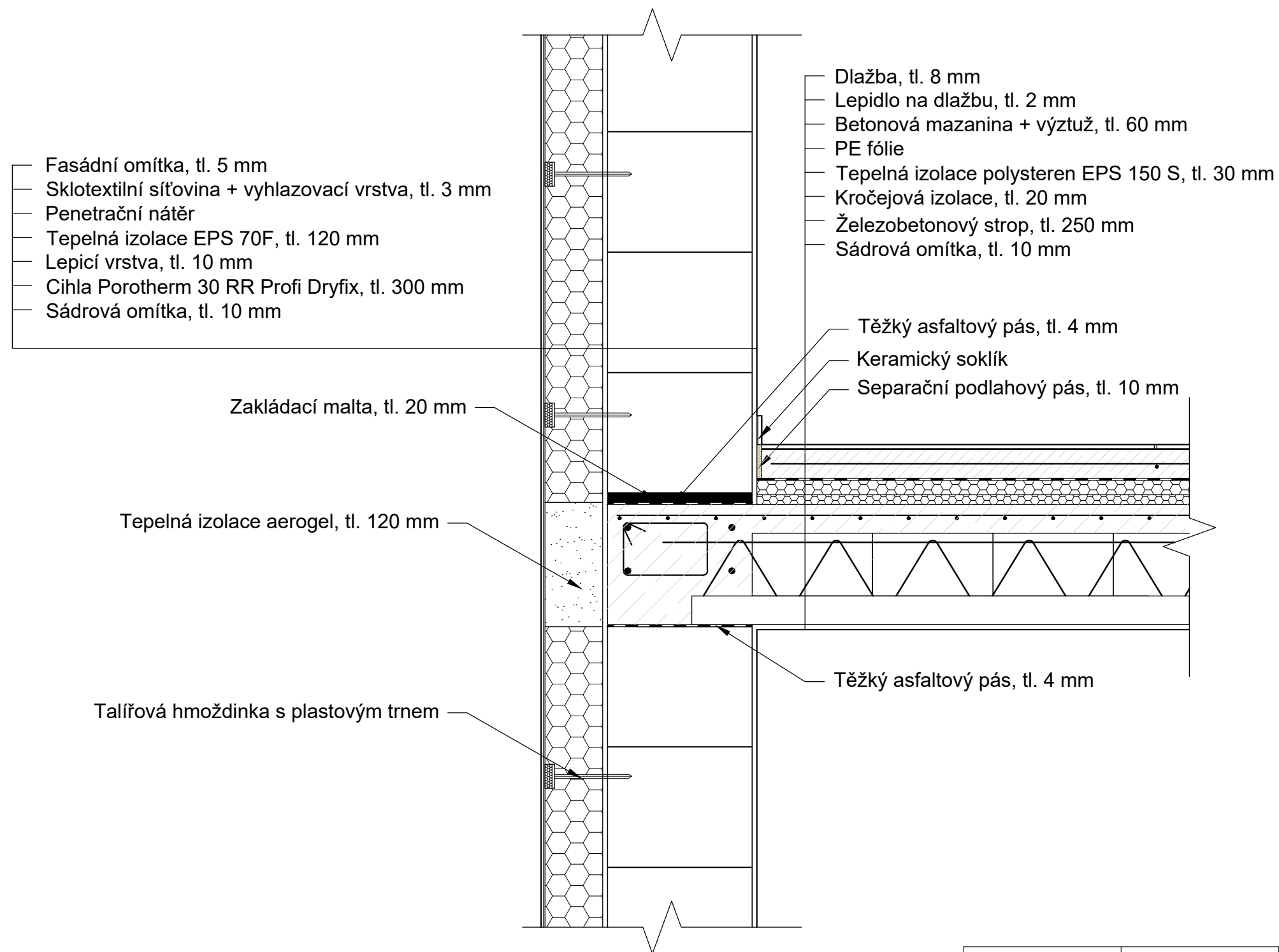
D.1.1.7. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – Calostat

D.1.1.8. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – SuperFOIL

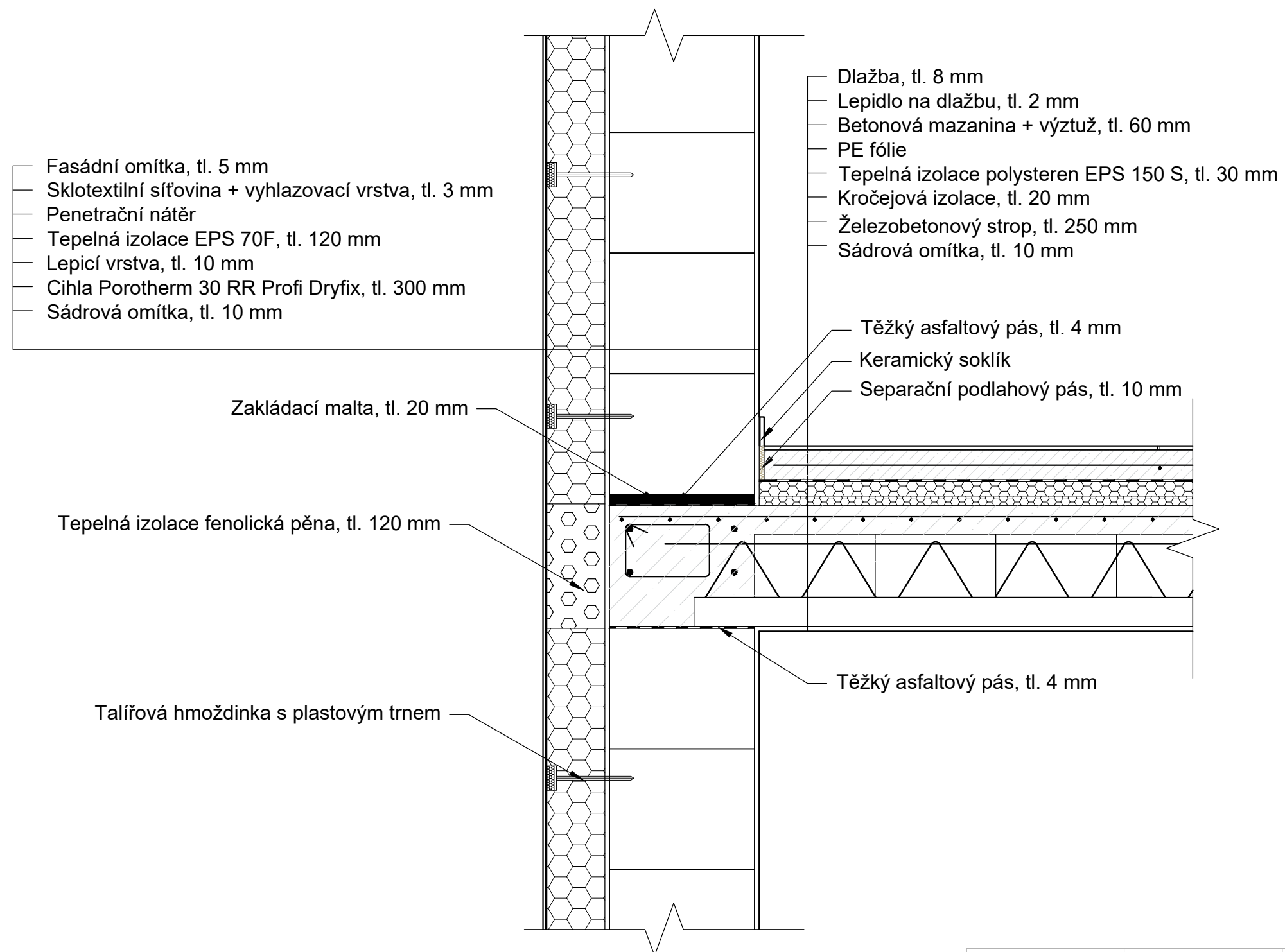
D.1.1.9. Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – celulóza



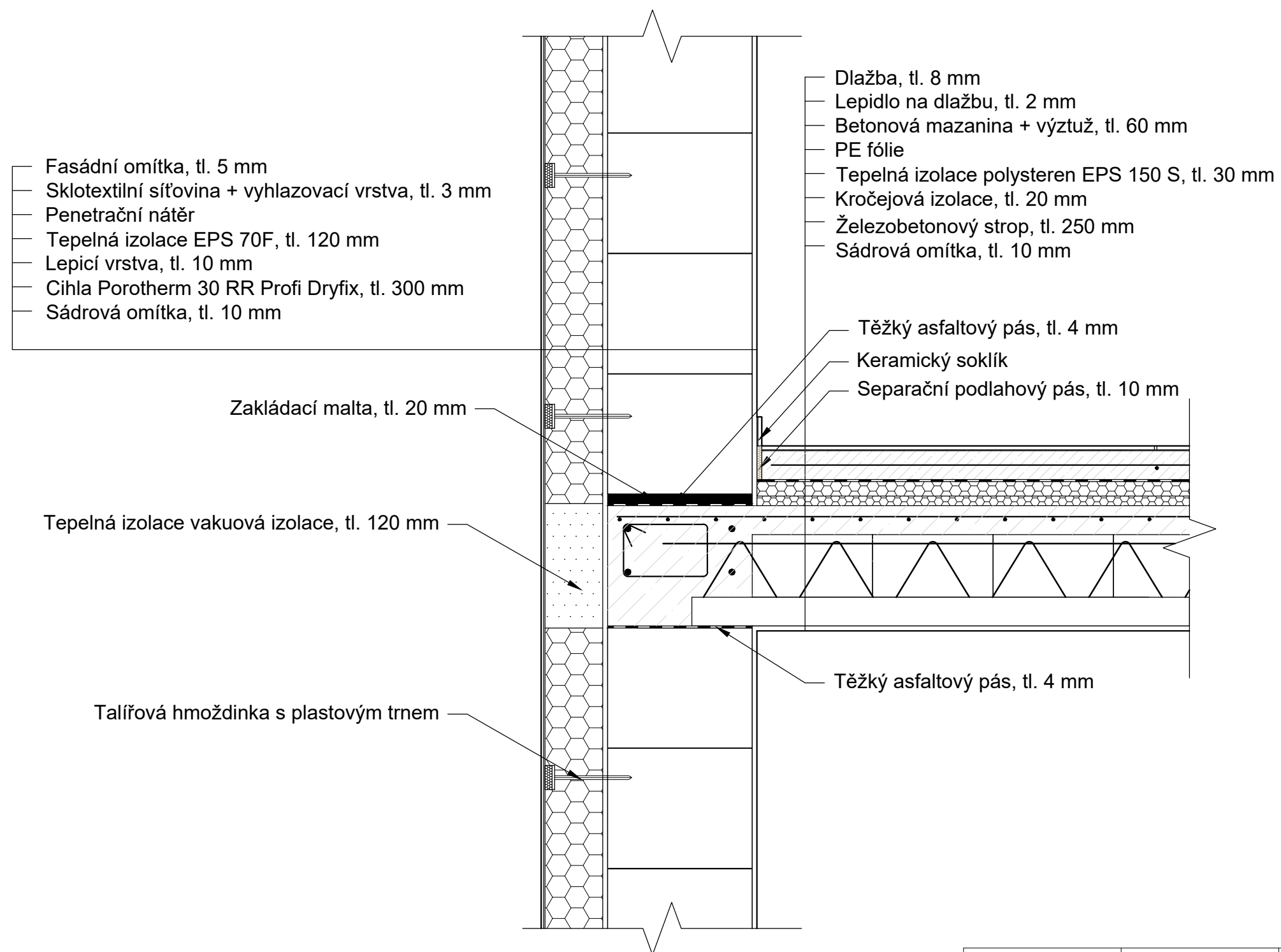
Vypracovala:	Vedoucí práce:	Studijní program:	Specializace:	Fakulta aplikovaných věd Západočeská univerzita v Plzni Technická 8, 301 00 Plzeň	
Bc. Kristýna Fantová	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.	Stavební inženýrství - Moderní budovy	Navrhování a provádění budov		
ROBOTICKÉ ZDĚNÍ STĚN S NÁSLEDNÝM ZATEPLENÍM MODERNÍMI TEPELNÝMI IZOLACEMI				Formát:	420x297
				Datum:	2023/2024
Praktická část diplomové práce				Měřítko:	1:10
Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – EPS 70F				Číslo výkresu:	D.1.1.1.



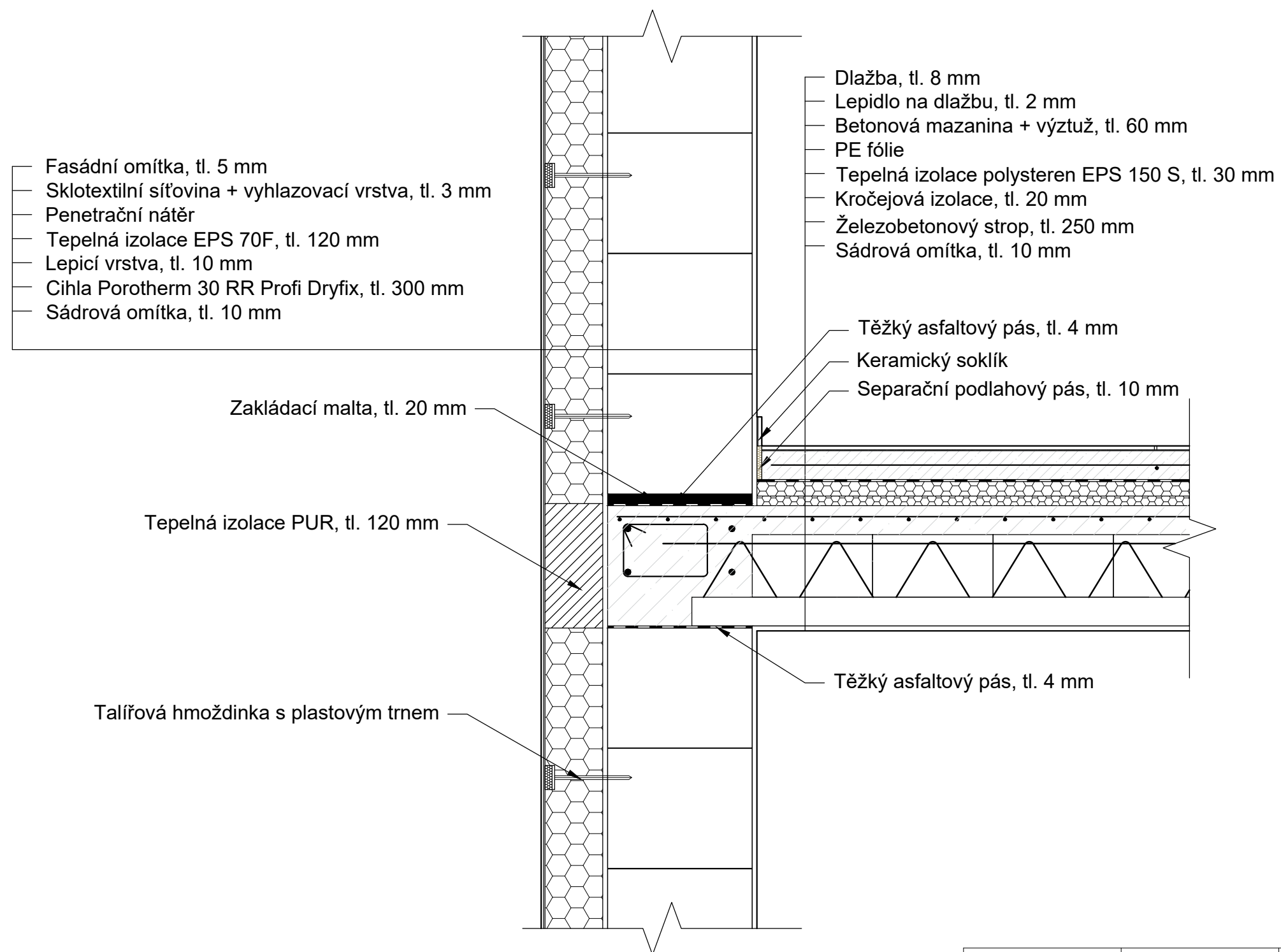
Vypracovala:	Vedoucí práce:	Studijní program:	Specializace:	Fakulta aplikovaných věd Západočeská univerzita v Plzni Technická 8, 301 00 Plzeň	
Bc. Kristýna Fantová	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.	Stavební inženýrství - Moderní budovy	Navrhování a provádění budov		
ROBOTICKÉ ZDĚNÍ STĚN S NÁSLEDNÝM ZATEPLENÍM MODERNÍMI TEPELNÝMI IZOLACEMI				Formát:	420x297
				Datum:	2023/2024
Praktická část diplomové práce				Měřítko:	1:10
Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – aerogel				Číslo výkresu:	D.1.1.2.



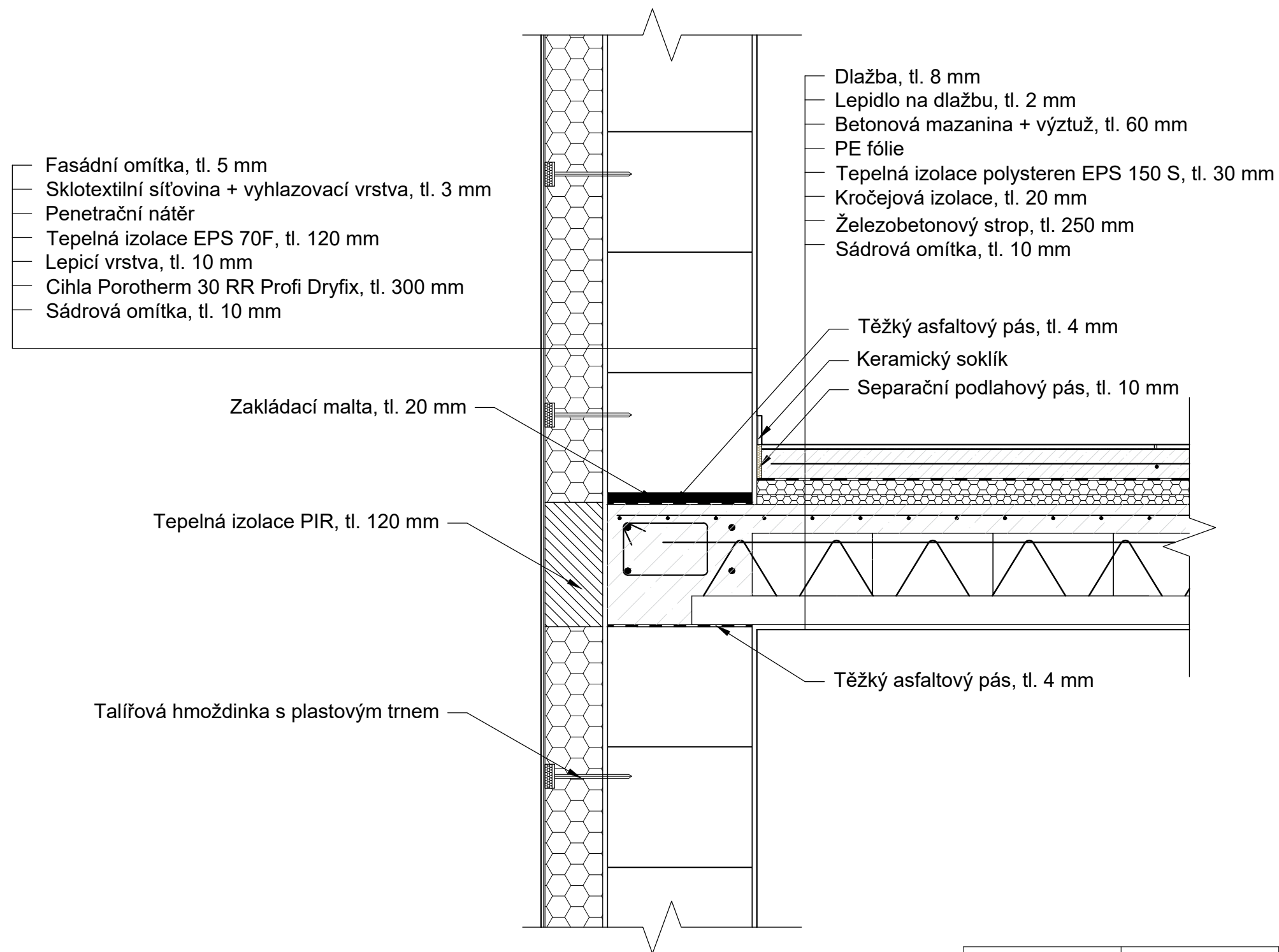
Vypracovala:	Vedoucí práce:	Studijní program:	Specializace:	Fakulta aplikovaných věd Západočeská univerzita v Plzni Technická 8, 301 00 Plzeň	
Bc. Kristýna Fantová	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.	Stavební inženýrství - Moderní budovy	Navrhování a provádění budov		
ROBOTICKÉ ZDĚNÍ STĚN S NÁSLEDNÝM ZATEPLENÍM MODERNÍMI TEPELNÝMI IZOLACEMI				Formát:	420x297
				Datum:	2023/2024
Praktická část diplomové práce				Měřítko:	1:10
Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – fenolická pěna				Číslo výkresu:	D.1.1.3.



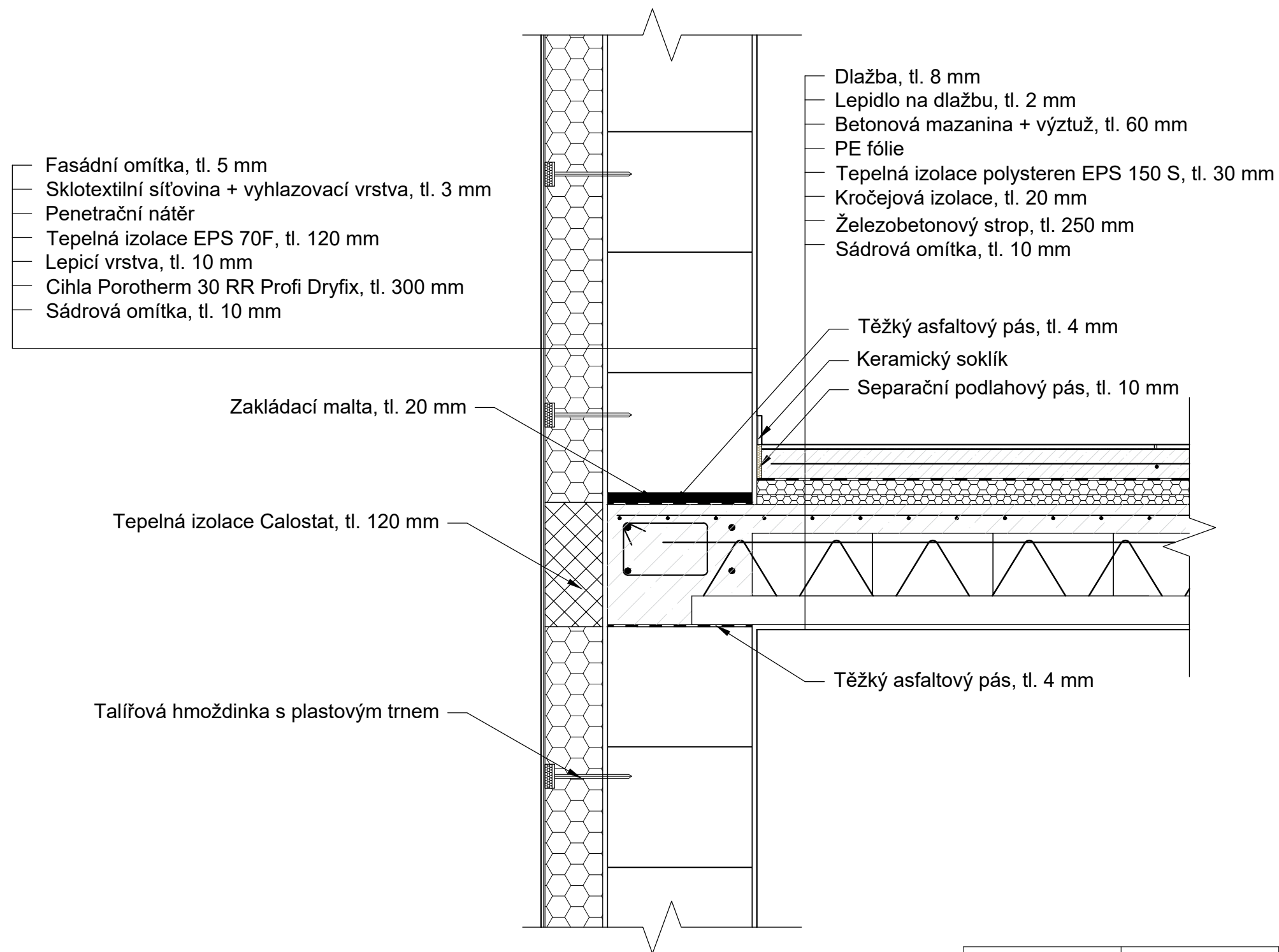
Vypracovala:	Vedoucí práce:	Studijní program:	Specializace:	Fakulta aplikovaných věd Západočeská univerzita v Plzni Technická 8, 301 00 Plzeň	
Bc. Kristýna Fantová	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.	Stavební inženýrství - Moderní budovy	Navrhování a provádění budov		
ROBOTICKÉ ZDĚNÍ STĚN S NÁSLEDNÝM ZATEPLENÍM MODERNÍMI TEPELNÝMI IZOLACEMI				Formát:	420x297
				Datum:	2023/2024
Praktická část diplomové práce				Měřítko:	1:10
Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – vakuové izolace				Číslo výkresu:	D.1.1.4.



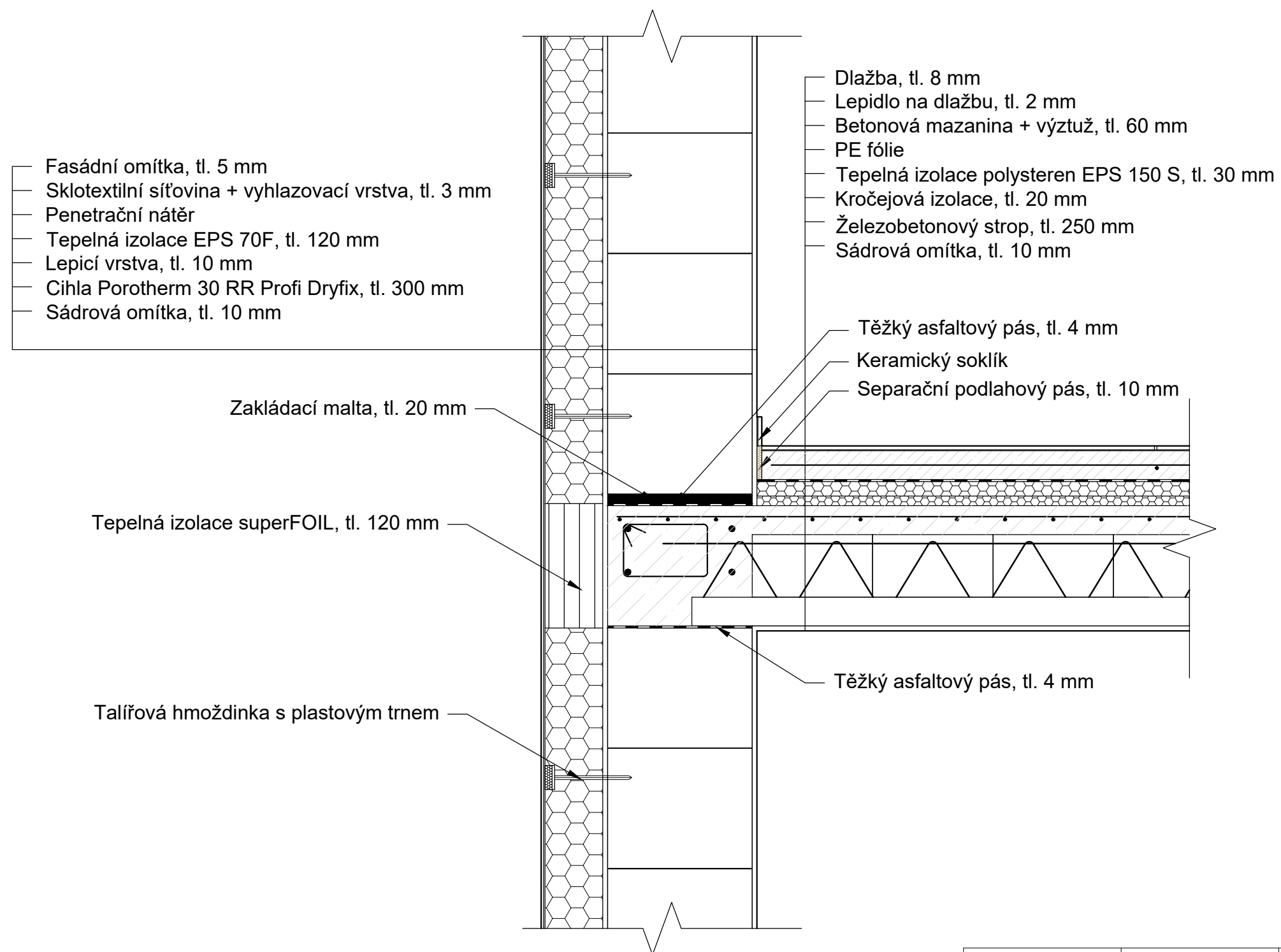
Vypracovala:	Vedoucí práce:	Studijní program:	Specializace:	Fakulta aplikovaných věd Západočeská univerzita v Plzni Technická 8, 301 00 Plzeň	
Bc. Kristýna Fantová	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.	Stavební inženýrství - Moderní budovy	Navrhování a provádění budov		
ROBOTICKÉ ZDĚNÍ STĚN S NÁSLEDNÝM ZATEPLENÍM MODERNÍMI TEPELNÝMI IZOLACEMI				Formát:	420x297
				Datum:	2023/2024
Praktická část diplomové práce				Měřítko:	1:10
Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – PUR deska				Číslo výkresu:	D.1.1.5.



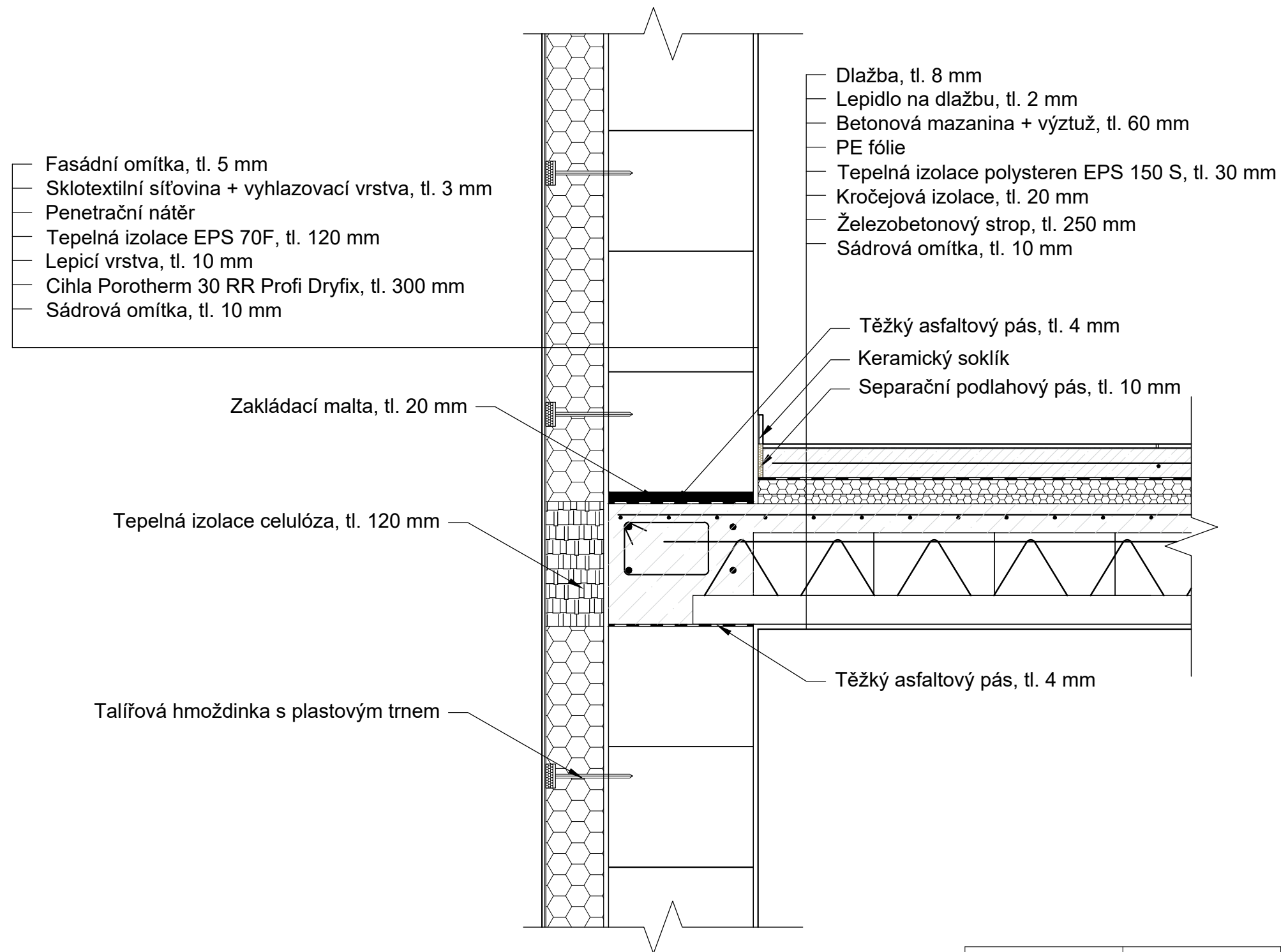
Vypracovala:	Vedoucí práce:	Studijní program:	Specializace:	Fakulta aplikovaných věd Západočeská univerzita v Plzni Technická 8, 301 00 Plzeň	
Bc. Kristýna Fantová	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.	Stavební inženýrství - Moderní budovy	Navrhování a provádění budov		
ROBOTICKÉ ZDĚNÍ STĚN S NÁSLEDNÝM ZATEPLENÍM MODERNÍMI TEPELNÝMI IZOLACEMI				Formát:	420x297
				Datum:	2023/2024
Praktická část diplomové práce				Měřítko:	1:10
Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – PIR deska				Číslo výkresu:	D.1.1.6.



Vypracovala:	Vedoucí práce:	Studijní program:	Specializace:	Fakulta aplikovaných věd Západočeská univerzita v Plzni Technická 8, 301 00 Plzeň	
Bc. Kristýna Fantová	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.	Stavební inženýrství - Moderní budovy	Navrhování a provádění budov		
ROBOTICKÉ ZDĚNÍ STĚN S NÁSLEDNÝM ZATEPLENÍM MODERNÍMI TEPELNÝMI IZOLACEMI				Formát:	420x297
				Datum:	2023/2024
Praktická část diplomové práce				Měřítko:	1:10
Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – Calostat				Číslo výkresu:	D.1.1.7.



Vypracovala:	Vedoucí práce:	Studijní program:	Specializace:	Fakulta aplikovaných věd Západočeská univerzita v Plzni Technická 8, 301 00 Plzeň	
Bc. Kristýna Fantová	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.	Stavební inženýrství - Moderní budovy	Navrhování a provádění budov		
ROBOTICKÉ ZDĚNÍ STĚN S NÁSLEDNÝM ZATEPLENÍM MODERNÍMI TEPELNÝMI IZOLACEMI				Formát:	420x297
				Datum:	2023/2024
Praktická část diplomové práce				Měřítko:	1:10
Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – superFOIL				Číslo výkresu:	D.1.1.8.



Vypracovala:	Vedoucí práce:	Studijní program:	Specializace:	Fakulta aplikovaných věd Západočeská univerzita v Plzni Technická 8, 301 00 Plzeň	
Bc. Kristýna Fantová	Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.	Stavební inženýrství - Moderní budovy	Navrhování a provádění budov		
ROBOTICKÉ ZDĚNÍ STĚN S NÁSLEDNÝM ZATEPLENÍM MODERNÍMI TEPELNÝMI IZOLACEMI				Formát:	420x297
Praktická část diplomové práce				Datum:	2023/2024
Detail zateplení styku stěna – strop – stěna pomocí tepelné izolace – celulóza				Měřítko:	1:10
				Číslo výkresu:	D.1.1.9.