



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

## VERTIKÁLNÍ ZELENÉ STĚNY

VERTICAL GREEN WALLS

### DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. arch. Ivana Utíkalová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. arch. Ivana Košíčková, Ph.D.

BRNO 2022

## Bibliografická citace

Ing. arch. Ivana Utíkalová *Vertikální zelené stěny*. Brno, 2021.132 s.. Disertační práce.  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí  
práce Ing. arch. Ivana Košíčková, Ph.D.

## ABSTRAKT

Pojmy vertikální zahrady, vertikální stěny, zelené stěny, živé stěny nebo zelené fasády lze označit jako názvy pro pěstování rostlin umístěných ve vertikální rovině, díky kterým se zakrývají stěny či sloupy různých objektů. Jsou definovány pod názvem vertikálně situované rostlinné výsadby, které dle použitých taxonů lze aplikovat do interiéru i exteriéru.

Současná architektura stále více hledá způsoby, jak vracet zeleň do lidských sídel, a vertikální zahrady jsou jedním z řešení, která dokáží reagovat i na nedostatek volných ploch pro zeleň, zejména při řešení zástavby uvnitř sídelních celků a vracet tak alespoň část přírody do vnitřního prostoru měst a obcí. V neposlední řadě systémová řešení vertikálních zahrad pro vytvoření vegetačních svislých stěn v interiéru a na fasádách objektů nabízí možnost zhotovení rozmanitých a z architektonického hlediska zajímavých ploch trvale porostlých vegetací.

Disertační práce se věnuje tématu ozeleňování fasád, zejména pomocí systémů nespojených s volnou půdou – tzv. vertikálními zahradami. Jelikož jsou poznatky k této problematice zatím málo zdokumentované a realizací zelených fasád těchto systémů v naší republice zatím není mnoho, jsem se na základě těchto skutečností rozhodla vytvořit vlastní reálný model fasádního systému vegetačních vertikálních stěn v klimatických podmínkách České republiky s místními taxony rostlin. V prvotní fázi práce je provedena analýza dostupných systémů zelených stěn a navržen plošný panel vertikální zelené stěny. V následující fázi je pak pomocí sledování růstu rostlin a měření teplot na zelené fasádě konkrétního objektu ověřován vliv těchto stěn na teplotu obvodového pláště a okolí budovy v porovnání s fasádou bez zeleně.

Vyhodnocení experimentů a získané poznatky poskytly informaci, jak zelená fasáda ovlivňuje své okolí a jaký by mohla mít vliv nejen na tepelnou pohodu objektu v jednotlivých ročních obdobích.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Vertikální zahrady, pěstební systémy, exteriér, interiér, způsoby ozelenění, modulární systémy, plošné konstrukce, testovací panel, testovací objekt, měřící bod

## ABSTRACT

The concepts of vertical gardens, vertical walls, green walls, living walls or green facades can be referred to as vertical plantations for planting the walls or columns of various objects. They are defined under the name of vertically situated plant plantings, which, according to the used plant taxa, can be applied both indoors and outdoors.

Contemporary architecture is increasingly looking for ways to return greenery to human settlements, and vertical gardens are one of the solutions that can respond to the lack of free space for greenery, especially when solving development within settlements and return at least part of nature to the interior of cities and municipalities. Last but not least, the system solutions of vertical gardens for the creation of vegetation vertical walls in the interior and on the facades of buildings offer the possibility of making various and architecturally interesting areas, permanently overgrown with vegetation.

The dissertation deals with the topic of greening facades, especially using systems not associated with open ground - the so-called vertical gardens. Since the knowledge on this issue is still poorly documented and the implementation of green facades of these systems in our country is not much, based on these facts, I decided to create my own real model of the facade system of vertical vegetation walls in the climatic conditions of the Czech Republic with local taxa. plants. In the initial phase of the work, an analysis of the available green wall systems is performed and a planar panel of the vertical green wall is designed. In the next phase, the influence of these walls on the temperature of the perimeter cladding and the surroundings of the building in comparison with the facade without greenery is verified by monitoring the growth of plants and measuring the temperatures on the green facade of a specific building.

The evaluation of the experiments and the acquired knowledge provided information on how the green facade affects its surroundings and what effect it could have on not only the thermal comfort of the building in individual seasons.

## KEYWORDS

Vertical gardens, growing systems, exterior, interior, landscaping methods, modular systems, planar structures, test panel, test object, measuring point



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem Vertikální zelené stěny zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 12. 2021

---

Ing. arch. Ivana Utíkalová

## PODĚKOVÁNÍ

Mé velké díky za pomoc při práci na testovacích panelech, při přípravě a provádění měření, za cenné rady a podněty při zpracování tématu mé disertační práce patří především mému kolegovi Ing. Lukáši Daňkovi, PhD. Moc si také vážím podpory celé mé rodiny a hlavně nekonečné trpělivosti mého muže, který mě celou dobu mého výzkumu podporoval a byl mi nápomocen.

V Brně dne 27. 12. 2021

---

Ing. arch. Ivana Utíkalová

# Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY .....	11
2.1	Popis problematiky.....	11
2.2	Způsob řešení dané problematiky .....	12
2.3	Terminologie .....	12
2.4	Historické kořeny a současný stav řešení vertikálních zelených stěn.....	14
2.4.1	Historie zelených fasád .....	14
2.5	Současnost.....	17
2.5.1	Systémy spojené s volnou půdou.....	18
2.5.2	Systémy nespojené s volnou půdou - vertikální zahrady.....	25
2.6	Pěstební systémy vertikálních zahrad .....	27
2.6.1	Policové systémy .....	27
2.6.2	Modulární systémy .....	29
2.6.2.1	Panely, kazety, fasádní koše.....	29
2.6.3	Plošné konstrukce .....	34
2.6.4	Kombinovaný systém .....	37
2.7	Systémy exteriérových vertikálních zahrad v České republice.....	38
2.7.1	Modulární systémy v exteriérových realizacích .....	38
2.7.2	Plošné systémy.....	42
3	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	43
4	METODIKA A ZPŮSOB ŘEŠENÍ PRÁCE .....	44
5	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST VÝZKUMU .....	45
5.1	Mechové stěny .....	45
5.2	Panely ze stálezelených rostlin .....	49
5.2.1	Příprava testovacích panelů .....	49
5.2.2	Monitorování růstu rostlin .....	52
5.2.3	Rostliny použité na testovacích panelech .....	54
5.3	Měření na fasádách KVOP.....	56
5.3.1	Popis testovacího objektu .....	57

5.3.2	Základní údaje o testovacím objektu .....	61
5.3.3	Měřicí body a metodika měření .....	69
5.3.4	Použitá měřicí technika.....	72
6	VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ .....	73
6.1	Základní charakteristiky provedených měření .....	73
6.2	Měřicí bod T1 (zelená fasáda).....	75
6.2.1	Neroztříděný statistický soubor pro měřicí bod T1 .....	75
6.2.2	Roztříděný statistický soubor pro měřicí bod T1.....	75
6.2.3	Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro bod T1 .....	77
6.3	Měřicí bod T2 (zelená fasáda).....	80
6.3.1	Neroztříděný statistický soubor pro měřicí bod T2 .....	80
6.3.2	Roztříděný statistický soubor pro měřicí bod T2.....	80
6.3.3	Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro bod T2 .....	82
6.4	Měřicí bod T3 (dřevěný obklad) .....	87
6.4.1	Neroztříděný statistický soubor pro měřicí bod T3 .....	87
6.4.2	Roztříděný statistický soubor pro měřicí bod T3.....	87
6.4.3	Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro bod T3 .....	89
6.5	Měřicí bod T4 (dřevěný obklad) .....	92
6.5.1	Neroztříděný statistický soubor pro měřicí bod T4 .....	92
6.5.2	Roztříděný statistický soubor pro měřicí bod T4.....	92
6.5.3	Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro bod T4 .....	94
6.6	Měřicí bod HMS (data ČHMÚ) .....	104
6.6.1	Neroztříděný statistický soubor pro měřicí bod HMS .....	104
6.6.2	Roztříděný statistický soubor pro měřicí bod HMS .....	104
6.6.3	Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro HMS .....	106
6.7	Naměřené minimální a maximální teploty .....	109
6.7.1	Minimální teploty v měřicích bodech.....	109
6.7.2	Maximální teploty v měřicích bodech .....	109
6.7.3	Minimální naměřené teploty v průběhu února 2021.....	110
6.7.4	Maximální naměřené teploty v průběhu července 2020.....	111
6.8	Průběh teploty ve vybraných dnech .....	112

6.8.1	Letní slunovrat (21. 6 .2020) .....	112
6.8.2	Podzimní rovnodennost (22. 9. 2020).....	113
6.8.3	Zimní slunovrat (21. 12. 2020) .....	114
6.8.4	Jarní rovnodennost (20. 3. 2021) .....	115
7	ZÁVĚR .....	116
7.1	Obecné závěry .....	116
7.2	Mechové panely .....	117
7.3	Panely ze stálozelených rostlin .....	117
7.4	Měření na fasádách KVOP.....	118
7.5	Možnosti dalšího pokračování a výzkumu.....	120
8	Citovaná literatura.....	121
9	Seznam použitých podkladů .....	124
9.1	Seznam obrázků .....	124
9.2	Seznam tabulek .....	130
9.3	Seznam grafů.....	130

# 1 ÚVOD

Pěstování rostlin ve vertikální rovině, díky kterým se zakrývají stěny či sloupy různých objektů, lze označit pojmy jako vertikální zelené stěny, vertikální zahrady, živé stěny nebo zelené fasády. Jsou definovány pod názvem vertikálně situované rostlinné výsadby, které dle použitých taxonů rostlin a pěstebních systémů lze použít do interiéru i exteriéru. Zelené stěny zahrnují vertikálně aplikované růstové médium, jako je půda, náhradní substrát, hydrofilní vlna nebo hydroponická plst'; a také integrovaný systém zalévání a hnojení.

Vertikální zelené stěny se v posledních letech staly novým trendem v moderní architektuře. Začlenění živé přírody do městského prostředí je v architektuře využíváno z hlediska nejen estetického, ale i ekologického a má také celou řadu výhod a účelů. Ať už v interiéru nebo exteriéru, volně stojící nebo nástěnné, jsou zelené stěny vhodné pro téměř všechna prostředí užívaná pro lidskou činnost.

Mezi největší benefity vertikálních zelených stěn patří:

- Čistění okolního vzduchu – snížení emisí CO<sub>2</sub> a prašnosti, produkce O<sub>2</sub>
- Snížení okolní teploty
- Snížení hluku
- Větší odolnost budov vůči požáru
- Prodloužení životnosti stěn
- Větší hodnota budov
- Pozitivní vliv na energetickou náročnost budov

## 2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

V úvodní kapitole bude popsána řešená problematika, základní úvod do historie a současnosti používaných systémů vertikálních zelených stěn včetně uvedení výhod a nevýhod použití jednotlivých systémů. Kapitola obsahuje i přehled systémů používaných na území České republiky včetně popisu jednotlivých realizací.

### 2.1 Popis problematiky

Zelené fasády pomáhají dotvářet nejen architektonické výraz objektů, ale vrací do sídel zeleň, která je důležitá nejen z důvodů estetických, ale hlavně pocitových a ekologických. Potřeba ozeleňování vertikálních ploch objektů stoupá s ubývajícím zelením sídel, ale nejedná se o záležitost novou. Naši předkové již ve středověku využívali pnoucí dřeviny a mechové stěny ke zkrášlení svých obydlí. V architektuře mají rostliny na fasádách své významné místo. Pomáhají zakrýt nevzhledné stěny, v letních měsících poskytují zastínění a pomáhají regulovat tepelnou pohodu v budovách, poskytují stín a chlazení při řešení teras a pergol.

Dva hlavní způsoby, jak ozelenit fasádu i vnitřní stěny, představují popínavé rostliny a vertikální zahrady (vertikální zelené stěny). Pro naše klimatické podmínky jsou v exteriéru zatím používány spíše pnoucí rostliny pro jejich jednodušší využití a mnohem menší finanční náročnost provedení, sortiment popínavých rostlin využívaných pro ozelenění fasád je užší, ale zato spolehlivější. Pnoucí dřeviny na fasádách působí jako účinná izolace proti přehřívání, snižují teplotní výkyvy, slouží jako ochrana před větrem, deštěm a hlukem.

Použití vertikálních zahrad převládá v našich klimatických podmínkách v interiéru, kde dotváří kvalitu vnitřního prostředí. Vertikální zelené stěny ovlivňují vnitřní mikroklima budov, odbourávají škodlivé látky. V exteriéru stěny z rostlin výrazně snižují teplotu stěn během léta, kdy jsou obvodové stěny přehřáté, což způsobuje zvýšení teploty uvnitř budov a výsledkem je zvýšení spotřeby energie a náklady na klimatizační systémy. Větrací mezera mezi stěnou budovy a panelu zelené fasády může snížit zahřívání stěny až o 15°C. Kromě toho také vertikální zahrady zlepšují kvalitu ovzduší uvnitř i vně budov prostřednictvím přirozeného systému rostlin. Rostliny fungují jako přírodní filtry vzduchu, absorbují toxiny a odebírají prach ze vzduchu. Pomocí procesu fotosyntézy snižují emise CO<sub>2</sub> a uvolňují O<sub>2</sub> důležitý pro pohodu venkovních i vnitřních prostorů. Vertikální

zahrada může snížit hluk, který se stává stále větším problémem měst, až o 40 dB, což je velkým přínosem při snižování přirozeného způsobu zvukového odrazu v exteriérech i interiérech.

## 2.2 Způsob řešení dané problematiky

Protože je většina systémů vertikálních zahrad v současné době cenově velmi náročná, hlavně díky systému automatického zavlažování, udržování provozuschopnosti tohoto systému během celého roku a následné údržbě zelených stěn, přistoupila jsem ve své disertační práci v první fázi k testování zelených stěn z mechů a mechorostů bez integrované závlahy. Závlaha mechů je nutná pouze v počátečních stádiích růstu, poté už pro růst stačí pouze vzdušná vlhkost a spad prachových částic. Předmětem disertační práce bylo vytvoření a testování nového specifického systému zelených fasád pomocí mechorostů, následně vertikálních zelených panelů vytvořených z taxonů stálezelených rostlin a jejich testování na konkrétním objektu v našich klimatických podmínkách. V práci jsem se nejdříve zaměřila na důkladné zmapování současné situace, kterou práce třídí a analyzuje.

## 2.3 Terminologie

V práci jsou použity tyto termíny a definice:

**vertikální zahrady** - označení pro plochu s výsadbou rostlin, která je spíše nebo zcela svislá. Většinou se jedná o rostliny, které vyrůstají v prostředí s umělou závlahou nebo v hydroponii, jindy v ploše rozdělené do různých druhů pěstebních nádob, v dalším případě jde o rostliny pěstované v plochých panelech nebo koších, které jsou později umístěny svisle na fasádu. Další možností ozeleňování je výsadba rostlin přímo do připraveného média na fasádě. Vertikální zahrady patří pod modro-zelenou infrastrukturu, tedy prvky, které se snaží o větší harmonii staveb a měst s přírodou.

**modro-zelená infrastruktura** - též zelená infrastruktura je síť prvků budovaných v harmonii s přírodou nejčastěji ve městech pro řešení urbanistických a klimatických problémů spadající pod urbánní ekologii. Patří do ní vodní prvky pro zachytávání a čištění dešťové vody v krajině. Spolu se zelení (flórou), pak dokáže zvýšit biodiverzitu, kvalitu půdy a stav podzemní vody, omezit znečištění ovzduší a erozi, ušetřit energie, zmírnit mikroklima, omezit přehřívání či zmírnit riziko přívalových povodní. Efektem více přírodních prvků je také příznivý vliv zelené infrastruktury na duševní a fyzický stav člověka.



**rostlinné výsadby** - společná výsadba může být definována jako praxe vysazování různých druhů rostlin blízkých společně na základě jejich schopnosti vzájemně se vylepšovat nějakým způsobem.

**taxon** - název souboru jedinců lišících se určitými znaky a vlastnostmi od všech jiných taxonů

**pěstební systém** - komplexní pěstební technologie vyznačující se určitým způsobem výsadby a údržby rostlin

**růstové médium** – (též živná půda nebo kultivační médium) je substrát nebo živný roztok bez půdy poskytující výživu a další vhodné podmínky rostlinám

**integrovaný systém zalévání** – zavlažovací systém jako nedílná součást vertikální zelené stěny

**pnoucí (popínavé) rostliny** - jsou většinou rychle rostoucí rostliny, vyrůstající z volné půdy, popínající podpůrné konstrukce

**vnitřní mikroklima budov** - vnitřní prostředí je životní prostředí v interiéru budov, resp. obecně fyzická realita obklopující živý organismus, se kterým je ve vzájemné interakci a neustále spoluvytváří jeho výsledný stav

**treláž** (podpůrná konstrukce) - konstrukce pro popínavé rostliny, husté mřížoví z úzkých, přes sebe zpravidla šikmo kladených latí; lat'ová stěna

**loubí** - prostor se stropem na sloupech a volným prostorem místo stěny

**pergola** - okrasná stavba umístěná obvykle na zahradě nebo jako navazující konstrukce stavby. Jedná se loubí lehké konstrukce složené z volně stojících sloupů, bez celistvého zastřešení.

## 2.4 Historické kořeny a současný stav řešení vertikálních zelených stěn

### 2.4.1 Historie zelených fasád

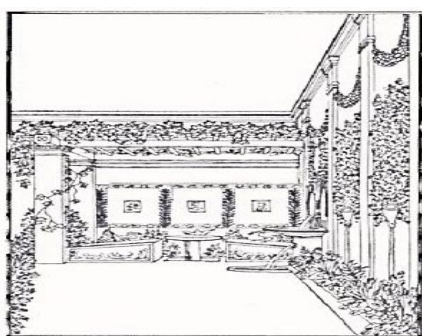
Různé formy použití rostlin na fasádách objektů sahají hluboko do historie, i když potřeba ozeleňovat stěny, sloupy a další svislé konstrukce nebyla v minulosti tak intenzivní jako v současnosti. Popínavé rostliny a ozeleňování fasád našly své místo ve všech historických obdobích a architektonických slozích.

První zmínky o záměrném používání popínavých rostlin uprostřed lidských sídel se datují do období starověku a jsou úzce spjaty s pěstováním révy vinné. Ing. Jiří Olšan z Památkového ústavu v Praze uvádí, že písemné zmínky o pěstování révy vinné se datují až do doby okolo 3500 let př. n. l. Nejstaršími ikonografickými prameny jsou nástěnné malby, fresky a reliéfy v hrobkách. Egypťané pěstovali víno na konstrukcích podobných loubím, ze kterých se postupně stávaly významné architektonické prvky starověkých zahrad. [1]

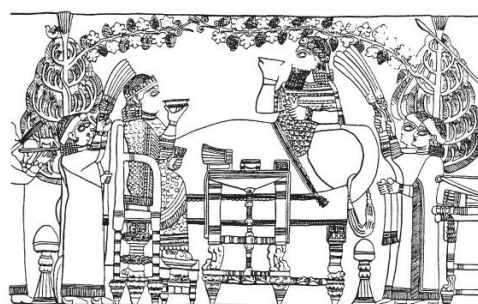


Obr. 2-1: Pěstování vinné révy v Egyptě cca 1400 l.p.n.l., hrobka úředníka Nakhta [1]

Civilizace antického Řecka a Říma používala révu vinnou a břečťan k popnutí různých pergol lemujících cesty. Staří Řekové používali laťové konstrukce sloužící jako opora pro pěstování vinné révy, loubí, besídky a pergoly pro popínavé rostliny a zastiňování. Římané na svých zahradách pěstovali hlavně popínavé růže, vinnou révu a břečťan, kterými popínali pergoly a sloupy patricijských vil.



Obr. 2-2: Sallustův dům v Pompejích [1]



Obr. 2-3: Asyrský král oslavuje vítězství pod loubím z vinné révy, Irák, 640 př.n.l. [1]

Popínavé rostliny jsou jednou z možností ozeleňování fasád, kdy samotné rostliny nejsou vyjmuty ze svého přirozeného prostředí. Dle pramenů [2] [3] lze uvést, že poprvé, kdy rostliny byly přesunuty do nepřirozeného prostředí, odkázané na neustálý přísun vody a živin jsou zaniklé Visuté zahrady Babylónské, označované také Visuté zahrady Semiramidiny, které patří mezi sedm divů světa. Podle legendy je nechala v Babyloně vystavět v polovině 6. století př. n. l. Semiramis, manželka krále Nabuchadneзара II. Kvůli nim dala navržit 25 metrů vysoký umělý pahorek ve tvaru půlkruhu. Ten byl obestavěn kolonádou, jejíž střechu osázeli královniní zahradníci vzácnými květinami, keři a stromy. Zahradou protékal umělý potok s vodopádem a záhony byly zavlažovány 35 tisíci litry vody, které přiváděl 50 kilometrů dlouhý akvadukt



*Obr. 2-4: Visuté zahrady Semiramidiny v Babylonu [4]*



*Obr. 2-5: Středověká zahrada [5]*

V období Středověku byla oblíbená vinná réva, vysazovaná na osluněných zdech. V zahradách pozdního Středověku (Francie, Anglie, Nizozemí a střední Evropa) se u zdí zahrad rostliny vyvazovaly k opěrným konstrukcím připevněným na zeď. Nejčastěji se jednalo o ovocné dřeviny. Ve středověkých zahradách se kromě vinné révy začaly objevovat popínavé růže a břečťan popínavý. Vinná réva se pěstovala nejen v zámeckých zahradách, ale také v zahradách a na fasádách měšťanských a selských domů. Velmi oblíbenými se staly drobné stavby zahradní architektury popnuté zimolezem a růžemi, jak dokládají četná dobová vyobrazení.

Další rozmach popínavých rostlin nastal v období renesance, kdy převážně popínavé růže pokrývaly zdi po obvodu zahrad a popínala se po trelážích a pergolách. V pozdní renesanci a raném baroku byly v zahradách stavěny speciální konstrukce (původně z kamene a ze dřeva), které vytvářely podlouhlé chodby pokryté hustou spleť více druhů popínavých rostlin. Tyto konstrukce tvořily prostorový kompoziční prvek zahrady a



poskytovaly kýžený stín jejím uživatelům. Rozmachu doznalo také pěstování vinné révy, která se jako užitková rostlina pěstovala na okrasných konstrukcích.

Ing. Olšan [1] uvádí, že v době Baroka klesal zájem použití pnoucích rostlin v zahradách. Popínavé dřeviny byly vysazovány ke stavbám a prvkům pouze malé zahradní architektury. Sortiment rostlin nebyl příliš široký, používaly se hlavně loubince, růže, zimolezy, břečťany a hrachory. Konečně od první poloviny 19. století (období neoklasicismu a romantismu) našly pnoucí dřeviny v přírodně krajinářských zahradách a parcích větší uplatnění. Druhá polovina 19. století byla značně ovlivněna teoretickými pracemi německých zahradních architektů a praktiků Gustava Meyera a Hermanna Jägera. V Jägerově spisu jsou vyčerpávajícím způsobem vyloženy vlastnosti a možnosti použitých popínavých rostlin, dřevin i letniček. Právě díky zvýšenému zájmu o pnoucí dřeviny rostl i sortiment opěrných konstrukcí.

Největší prostor v historii dostaly popínavé rostliny v období secese, kdy byly popínavé rostliny nejen umísťovány v zahradách na trelážích, aby opticky oddělily jednotlivé části zahrady, ale popínavými rostlinami se inspirovala také secesní architektura na svých fasádách. Popínavých rostlin se nevzdala ani funkcionalistická architektura 1. poloviny 20. století.



Obr. 2-6: Secesní vila Veverčí 14, Brno [6]



Obr. 2-7: Popínavé rostliny na fasádě vily Tugendhat [7]



Obr. 2-8: Rostlinné motivy na zábradlí objektu na Veverčí 14, Brno [6]

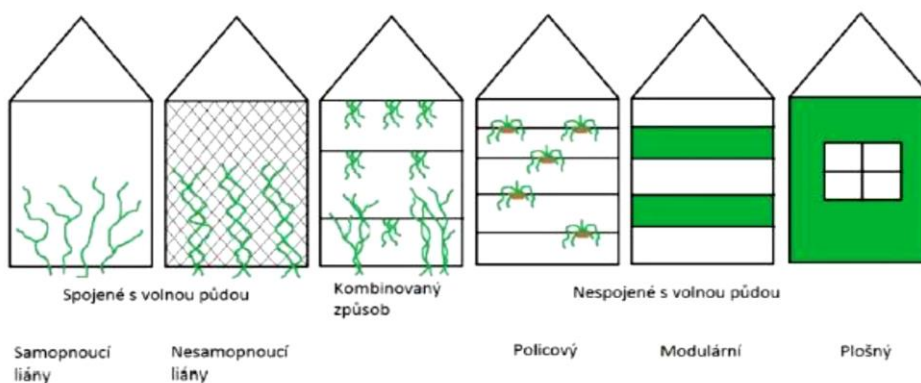


Obr. 2-9: Fasáda vily Stiassni, Brno [8]

## 2.5 Současnost

V současnosti lze systémy pro ozelenování stěn rozdělit na systémy:

1. spojené s volnou půdou (pomocí samopnoucích či nesamopnoucích rostlin)
2. nespojené s volnou půdou (vertikální zahrady)



Obr. 2-10: Systémy pro ozelenování stěn [9]

Výhody a nevýhody obou způsobů ozelenění stěn přehledně rozdělil Ing. Samuel Burian, autorizovaný architekt pro zahradní a krajinářskou tvorbu, zabývající se zelenými fasádami již 30 let, v následující tabulce:

Tab. 2-1: Rozdíly mezi pnoucími dřevinami a vertikálními zahradami [9]

PNOUCÍ DŘEVINY	VERTIKÁLNÍ ZAHRADY (interiér/exteriér)
Náklady na pořízení jsou řádově nižší, nejvýše v řádu stokorun na 1 m <sup>2</sup>	Vysoké pořizovací náklady, až v desítkách tisíc na 1m <sup>2</sup>
Úplná nezávislost na energetických zdrojích, nenáročná péče, vyrůstají z malé, dobře dostupné plochy na terénu	Závislé na energetických zdrojích (čerpadla), nutná pravidelná péče, výškové práce
Vysoký přínos pro energeticky úspornou architekturu	Malý přínos pro energeticky úspornou architekturu
Pomalý nástup účinku	Téměř okamžitý účinek
Výškové omezení	Teoreticky neomezená výška
Primárně do exteriéru	Primárně do interiéru (v našich podmínkách)
Omezená tvářnost	Vysoká tvářnost (tvorba kompozic)



Obr. 2-11: Použití pnoucích rostlin (Japonsko) [10]



Obr. 2-12: Použití vertikálních zahrad - Caixa Forum Madrid (2008) [11]

### 2.5.1 Systémy spojené s volnou půdou

Řešení zelených fasád pomocí popínavých rostlin je starším způsobem ozelenění fasád. Zelené fasády z popínavých rostlin vyrůstajících z volné půdy na terénu mají pro řešený objekt zajímavé vlastnosti:

- Na stěnách jsou díky příkrovu listů velmi malé teplotní rozdíly, zdivo a omítka jsou chráněny před velkými teplotními výkyvy a nedochází k přehřívání stěn v letních měsících, slouží jako ochrana před deštěm, větrem a hlukem
- V zimních měsících slouží vzduchová vrstva mezi listy a stěnou objektu jako tepelná izolace (týká se neopadavých druhů popínavých rostlin).
- U opadavých druhů rostlin - v létě jejich listy pomáhají zmírnit sluneční žár, a v zimě naopak nic nebrání dopadům slunečních paprsků na holou stěnu objektu.
- Listy popínavých rostlin snižují proudění větru kolem stěn a zabraňují tak jejich ochlazování, naopak odpar vody přes listy rostlin v letních měsících pomáhá ochlazování vzduchu při stěně objektu a tím zajišťuje příjemnější klima na terasách, balkonech, ...

Z hlediska orientace ke světovým stranám rozlišujeme stále zelené plošně pokryvné popínavé rostliny, vhodné pro severní a východní stěny domů (např. břečťan, brslen). Na jižních či západních stranách objektů se používají opadavé druhy rostlin (např. přísavník, vistárie).

Při návrhu fasád z pnoucích rostlin je nezbytně nutné respektovat stanovištní podmínky, velikost vzrůstu a hmotnost dřevin a volit podle nich vhodné druhy rostlin a opěrných konstrukcí. Například břečťan, který má rád stín, při růstu na slunci ztrácí schopnost pnutí.

Samopnouce rostliny vynikají nízkými pořizovacími náklady, údržba je trochu nákladnější. Kopírují tvar předmětu, který porůstají.

Rostliny na podpůrné konstrukci mají naopak vyšší pořizovací náklady, ale levnější údržbu, rostou pouze na ploše vymezené konstrukcí. Problematické je jejich využití na velmi vysokých budovách a nevýhodou je i pomalejší nástup zamýšleného účinku.



Dle adaptačního mechanismu pnutí po povrchu [12] je pnoucí rostliny možné rozdělit na:

**1. Kořenující pnoucí dřeviny – používají k uchycení přícepivé kořinky**



Obr. 2-13: Fasáda objektu pokrytá stálezeleným břečtanem



Obr. 2-14: Přícepivé kořeny břečtanu



Obr. 2-15: Břečtan popínavý (*Hedera helix*)



Obr. 2-16: Trubač kořenující (*Campsis radicans*)



Obr. 2-17: Hortenzie (*Hydrangea petiolaris*)

Tyto rostliny využívají pro uchycení ke svislé podpoře přícepivé kořinky, které se vytvářejí po celé délce rostliny na straně odvrácené od světla. Fasády musí být dostatečně hrubé, pevné a soudržné. Pro svůj růst využívají rostliny tzv. negativní fototropismus, kdy kořinky rostliny vyhledávají stín a tmavá místa a vyplňují sebenepatnější trhlinu a následně pak mohou konstrukce narušit.



Obr. 2-18: Zarůstání kořenů pod zatepl. systém [13]



Obr. 2-19: Prorůstání kořenů pod střechu [13]



2. **Úponkaté dřeviny s adhezními terčičky** – pro upevnění rostlin k podkladu používají lepkavé ploché terčičky (přísavky)



Obr. 2-20: Objekt porostlý přísavníkem



Obr. 2-21: Lepivé adhezivní terčičky



Obr. 2-22: Přísavník trojcípý  
(*Parthenocissus tricuspidata*)



Obr. 2-23: Přísavník pětilistý  
(*Parthenocissus quinquefolia*)



Obr. 2-24: Přísavník v období vegetačního klidu [14]

Pomocí terčičku je rostlina schopna se přichytit i na velmi hladké povrchy, není tedy nutné pro pnutí řešit jakékoliv podpurné nebo opěrné konstrukce. Tyto druhy rostlin se velmi dobře rozrůstají do šířky a rovnoměrně porůstají velké plochy. Po strhnutí rostliny ale zůstávají terčičky na fasádě.



Obr. 2-25: Suché terčičky na fasádě po odtržení



Patrně nejstarší dochovaná popínavá rostlina loubince-přisavníku (*Parthenocissus tricuspidata*) na našem území ze začátku 20.století se nachází na Révovém nádvoří pražského Klementina. I přes probíhající rekonstrukci fasád v roce 2015 byla tato rostlina opatrně odtrhána od fasád a po opravě fasády byla pomocí spojovacího materiálu vrácena zpět. Velmi dobrým příkladem použití popínavých rostlin na fasádě je Mullerova vila v Praze, kde architekt Adolf Loos, 1930, prvky na fasádě barevně sladil s podzimními barvami loubince trojlaločného (přisavníku trojcípého).



*Obr. 2-26: Révové nádvoří Klementina před rekonstrukcí (2012) [15]*



*Obr. 2-27: Révové nádvoří Klementina před rekonstrukcí (2013) [15]*



*Obr. 2-28: Révové nádvoří po rekonstrukci (2016) [15]*



*Obr. 2-29: Mullerova vila v Praze [16]*

3. **Úponkaté pnoucí dřeviny** – vyžadují podpurné konstrukce, pro uchycení k podpoře používají úponky, které pevně obtáčí nosnou konstrukci.



Obr. 2-30: *Plamének velkokvětý (Clematis x hybrida)*



Obr. 2-31: *Réva vinná (Vitis vinifera)*



Obr. 2-32: *Úponky pnoucích rostlin*

Pnoucí dřeviny s úponky využívají pro růst konstrukce z tenkých profilů tl. max. 8 mm – jemné sítě, pletiva, tahokov, lankové systémy Tyto konstrukce je možné tvarovat dle představ architekta, rostlina obrůstá daný tvar. Úponek se dotkne předmětu, který omotá, zkrátí se a rostlinu přitáhne k podkladu, Nosné systémy se nejčastěji umísťují 30 až 50 cm před fasádu.



Obr. 2-33: *Vedení rostlin pomocí lankového systému*



Obr. 2-34: *Ocelová síť [17]*



Obr. 2-35: *Lankový systém [17]*



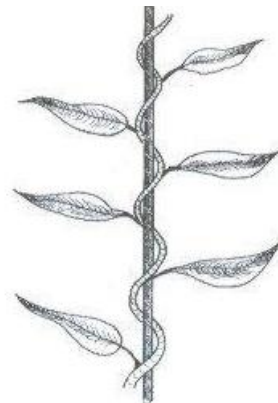
Obr. 2-36: *Lankový systém – detail [17]*



4. **Ovíjivé pnoucí dřeviny** – ovíjí se kolem podpory, a když sílí, mohou podporu rozmačkat. Je proto nutné jako podporu volit svislá lanka či latě s velkými odstupy.



Obr. 2-37: Fasáda objektu porostlá vistárií na treláži



Obr. 2-38: Ovíjivé dřeviny-systém pnutí



Obr. 2-39: Wistárie čínská (*Wisteria sinensis*)



Obr. 2-40: Podražec velkolistý (*Aristolochia macrophylla*)



Obr. 2-41: Zimolez Tellmanův (*Lonicera tellmanniana*)

Pro správné obtáčení rostliny kolem podpory by tato měla být umístěna min. 20 cm od fasády, stačí jednotlivé svislé podpory provedené z tvrdých celoprofilových materiálů. Ovíjivé druhy rostlin se příliš nehodí pro pokrytí souvislých ploch, protože vzdálenost svislých podpor by měla být optimálně 30 cm. Pro velkou sílu starších rostlin se nedoporučuje popínat okapové svody, zábradlí s prvky s malými vzdálenostmi, rostliny mohou poškodit střešní krytinu. Povrch podpor by měl být hrubý a důkladně ošetřený, protože další údržba bývá obtížná.

5. **Vzpěrné rostliny** – opírají se o podklad (pnoucí růže,) Tento druh rostlin je nutné ke konstrukci vyvazovat nebo volit podklad, kterým lze výhony provlékat.



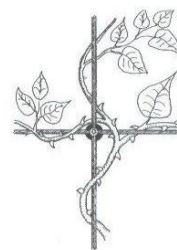
Obr. 2-42: Popínavá růže na treláži [14]



Obr. 2-43: Popínavá růže (*Rosa multiflora, odorata, agrestis*)



Obr. 2-44: Ostružiník beztrnný (*Rubus fruticosus*)



Obr. 2-45: Podpory pro vzpěrné rostliny

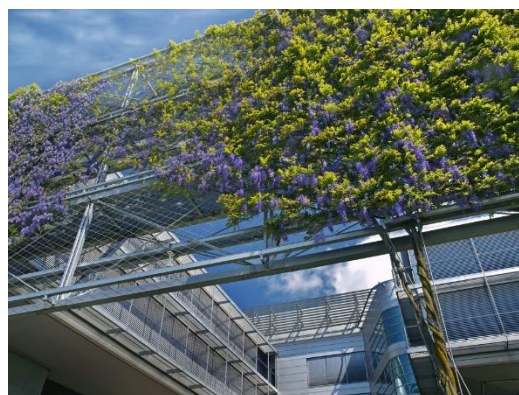


Obr. 2-46: Treláž

Nosnou konstrukcí mohou být různé druhy treláží, mříží, pergol, ale i lankové systémy. V poslední době se také velmi často jako podpora pro vzpěrné rostliny využívají moderní prostorové konstrukce dotvářející spolu s vybranými rostlinami celkový architektonický záměr díla.



Obr. 2-47: Prostorová konstrukce pro popínavé rostliny



Obr. 2-48: Prostorová konstrukce f. Carl Stahl [17]

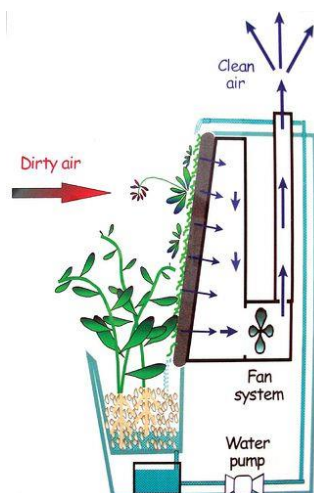


## 2.5.2 Systémy nespojené s volnou půdou - vertikální zahrady

Vertikální zahrady vytváří "druhou kůži" budovy, což umožňuje ušetřit energii a snížit provozní náklady objektů. Výhodou je instalace již hotového prvku, jeho rychlý účinek. Vertikální zahrady lze vytvořit i ve vyšších patrech objektů jak v interiéru, tak exteriéru. Nevýhodou je odkázanost na systémy zavlažování a vysoké pořizovací náklady i cena provozu. Vertikální zahrada poskytuje přirozenost a krásu ve všech prostředích, umožňuje harmonii designu a zeleně v řešených prostorech i tam, kde nejsou žádné jiné možnosti výsadby zeleně.

Současné poznatky o možnostech využití a postupech realizace vertikálních zahrad pocházejí z míst střední Evropy, především z Německa, Rakouska, Francie, Španělska a Itálie, kde se použití vertikálních zahrad v interiérech i exteriérech stává velmi populární.

V Kanadě se začaly vertikální zelené stěny využívat jako součást klimatizačních systémů, které využívají potenciál rostlin při čištění vzduchu. Do systému je jako botanický vzduchový filtr zařazena vertikální zahrada Biowall, který využívá přirozenou schopnost rostlin čistit vnitřní vzduch snížením  $\text{CO}_2$  a odstraněním VOC. Kontaminovaný vzduch z budov proudí růstovými médii zelené stěny. Jak vzduch protéká růstovým médiem, mikrobi v kořenové zóně rostlin metabolizují VOC. Škodliviny se rozpouštějí v půdní vodě, absorbují v substrátu a půdní mikroflórou a rostlinami dochází k jejich biodegradaci. Po filtraci se vyčištěný vzduch vrátí zpět do vzduchotechniky domu. Biowall má také potenciál snížit spotřebu energie vzduchotechniky až o 25%, protože pro větrání je zapotřebí méně vnějšího vzduchu.



Obr. 2-49: Schéma fungování stěny Biowall [18]



Obr. 2-50: Biowall – Mezin. letiště v Edmontnu-Kanada (8.000 ks rostlin=32 druhů) [19]

Myšlenka vertikálních zahrad vznikla už ve 30. letech minulého století. První vertikální zahradu v Rio de Janeiru společně založili architekt Le Corbusier a brazilský zahradní architekt Roberto Burle Marx.

S vertikálními zahradami je však nejčastěji spojován francouzský botanik, vědec pracující ve francouzském Národním centru pro vědu a výzkum, kde se specializuje na rostliny tropických lesních porostů a umělecký designér Patrick Blanc (1953). Je vynálezcem konstrukčního systému vertikální zelené stěny zvaným Le mur végétal, který využívá novou techniku kultivace rostlin bez substrátu-vertikální hydroponickou zahradu, která ji odlišuje od jejích předchůdců – tzv. botanické cihly vynalezené profesorem Stanley Hart White (University of Illinois Urbana Champaign, 1938). Blancovou první velkou realizací byla v roce 2001 třicet metrů vysoká zelená stěna pařížského hotelu Pershing Hall, která spojuje všech 6 pater budovy. Vertikální zahrady Patricka Blanca v současné době vznikají na významných stavbách po celém světě (např. Musée du Quai Branly v Paříži (2005), CaixaForum v Madridu (2008), L'Oasis d'Aboukir v Paříži (2013)).



*Obr. 2-51: Vertikální zelená stěna hotelu Pershing Hall v Paříži (2001) [20]*



*Obr. 2-52: Zelená fasáda Musée du Quai Branly v Paříži (2005) [21]*



*Obr. 2-53: Oasis of Aboukir v Paříži – na 25 m<sup>2</sup> stěny roste 7600 rostlin, 237 různých druhů [21]*

Vertikální zelené stěny je možné instalovat jak v exteriérech, tak interiérech, v místech, kde by klasická výsadba zeleně nebyla možná. Poloha zelených stěn, jejich orientace ke světovým stranám a intenzita osvětlení poté určují výběr rostlin použitých při jejich osazování. Důležitou roli při výsadbě hraje také záměr architekta a vzhled rostliny. Je třeba mít na paměti, že se vertikální zahrada bude měnit v závislosti na ročním období a stáří použitých rostlin.

## 2.6 Pěstební systémy vertikálních zahrad

Systémová řešení vertikálních zahrad pro vytvoření vegetačních svislých stěn v interiéru a na fasádách objektů nabízí možnost zhotovení rozmanitých a z architektonického hlediska zajímavých ploch, trvale porostlých vegetací.

Pěstební systémy je možné rozdělit do dvou skupin, na pěstební systémy bez použití substrátu (hydroponické systémy) a s použitím substrátu. Systémy s použitím substrátu jsou mnohem častější než systémy bez substrátu a lze je na trhu nalézt v mnoha modifikacích. Rozdíly se týkají především použitého pěstebního média a způsobu jeho uchycení. V dostupné literatuře se příliš nesetkáváme s klasifikací pěstebních systémů, detailnější dělení a definice jednotlivých systémů poskytuje ve svém článku z roku 2011 [9] prof. Ing. Miloš Pejchal, CSc. z Mendelovy univerzity v Brně, ve kterém dělí pěstební systémy nespojené s volnou půdou na:

1. Policové systémy
2. Modulární systémy
3. Plošné konstrukce

### 2.6.1 Policové systémy

Policové systémy mají na stěnách nebo ostatních nosných konstrukcích umístěné pěstební nádoby s integrovaným systémem závlahy, ve kterých se rostliny pěstují obdobným způsobem jako tzv. mobilní zeleň v pozemní úrovni nebo na plochých střechách.

Příkladem policového systému je např. pětipodlažní dům v italském Turíně s více než šedesáti byty, který dokáže díky zeleni na fasádě a ve dvoře za hodinu absorbovat 200 tisíc litrů oxidu uhličitého a za stejnou dobu vyprodukovat 150 tisíc litrů kyslíku. Tento projekt, který navrhl architekt Luciano Pia, tak opět upozorňuje na význam rostlin a zejména stromů pro čištění městského ovzduší.



Obr. 2-54: Bytový dům v Turíně, Itálie (2014)



Obr. 2-55: Pohled na fasádu s nádobami na rostliny

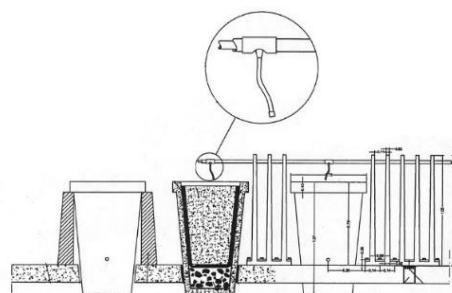




Obr. 2-57: Pohled ze severovýchodní strany [22]

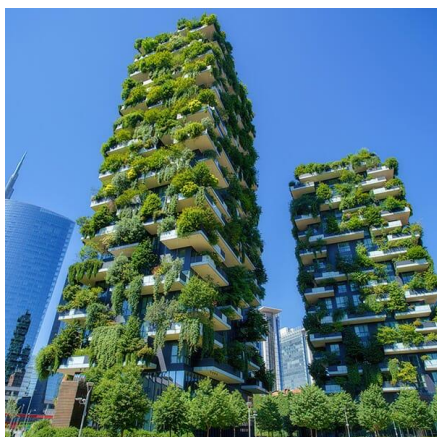


Obr. 2-58: detail řešení pěstebních nádob [22]



Obr. 2-56: Závlaha integrovaná do zábradlí balkonů [22]

Bytový dům se sociálními byty Tower Flower v Paříži, jehož autorem je pařížský architekt Edouard François, byl dokončen v roce 2004. Do konstrukce balkonů bytů bylo osazeno 380 betonových květináčů, které byly osázeny sazenicemi bambusů. Každý byt pak dostal k dispozici jeden květináč pro pěstování vlastních rostlin. Zapuštěné květináče jsou zavlažovány automatickým zavlažovacím systémem integrovaným do zábradlí balkonů.



Obr. 2-59: Dvě věže Vertical Forest v Miláně(2009-2014) [23]



Obr. 2-60: Pěstební nádoby umístěné na balkonech a řešení následné údržby zeleně [23]

Bosco Verticale (Vertikální les) je dvojice obytných věží v italské milánské čtvrti Porta Nuova navržená architektonickou kanceláří Boeri Studio architekta Stefana Boeri. Mají výšku 111 metrů a 76 metrů a obsahují více než 900 stromů (přibližně 550 a 350 v první a druhé věži) 5 000 keřů a 11 000 vytrvalých rostlin, které pomáhají zmírňovat smog a produkovat kyslík, na 8 900 m<sup>2</sup> teras. Pro nastavení požadavků zavlažování celého objektu byly vypracovány mikrometeorologické studie na základě zkoumání klimatických charakteristik. Zavlažování pak bylo individuálně nastaveno pro každou z fasád a podle rozložení vegetace v každém patře.



## 2.6.2 Modulární systémy

Modulární systémy vertikálních zahrad pokrývají fasády pomocí prefabrikovaných dílců zavěšovaných na nosné konstrukce stěn. Výsadba rostlin probíhá dvěma způsoby. Jednotlivé dílce mohou být před instalací předem osázeny a v případě potřeby jednoduše vyměňovány nebo jsou rostliny vysazovány až na místě. Prefabrikovanými prvky jsou nejčastěji:

### 2.6.2.1 Panely, kazety, fasádní koše

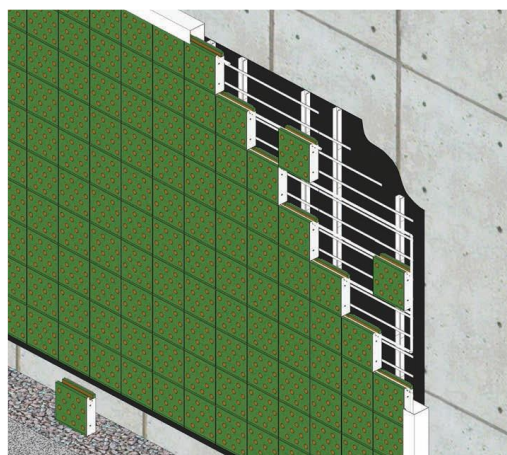
Všechny tyto systémy jsou vyráběné z kovového nebo umělohmotného pletiva, vyplněné pěstebním médiem. Tímto médiem mohou být v hydroponických systémech – geotextilie, minerální vlna, mech, rašeliník, formaldehydová pěna nebo kokosové vlákno nebo se jako výplň jednotlivých panelů, kazet používá drobný štěrk z porézních materiálů a recyklovaných cihel nebo drcená zrna expandovaného jílu.

Panely, kazety i koše jsou zavěšovány na nosnou převážně hliníkovou konstrukci, která je přímo kotvena k nosné konstrukci objektu. Ve většině realizací se používají typové rozměry těchto systémů, ale někteří výrobci nabízejí jejich výrobu na míru podle konkrétního tvaru řešené fasády. Každý výrobce má na tyto systémy svůj patent, a jiný vzhled a rozměrovou řadu panelů, kazet nebo košů. Všechny systémy jsou odolné proti působení klimatických vlivů, UV záření, mrazu a větru.

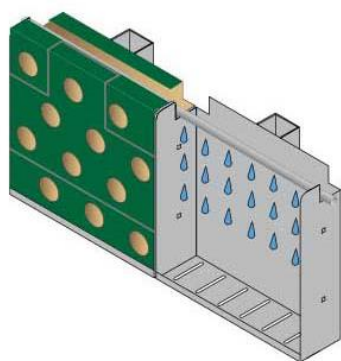
Nejčastěji používanou závlahou je kapkový závlahový systém, který lze v případě potřeby nezávisle na sobě odmontovat a vyměnit.



Obr. 2-61: Kazetový systém PRO WALL firmy GSKy Plant Systems Inc. [24]

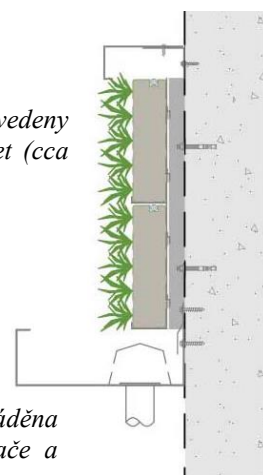


Obr. 2-62: Zavěšování kazet systému PRO WALL na nosnou hliníkovou konstrukci [24]



Obr. 2-63: V každé kazetě je každých 5 cm umístěn výpustek kapkové závlahy pro rovnoměrnou distribuci vody a živin [24]

Rozvody závlahy jsou vedeny přes každou řadu kazet (cca 30 cm výšky)

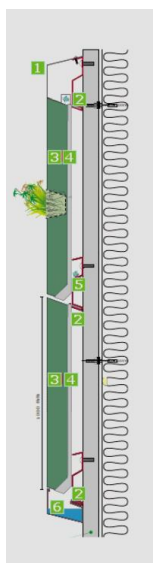


Voda je obvykle odváděna do odtokového sběrače a dále do terénu

Obr. 2-64: Řez systémem PRO WALL [24]

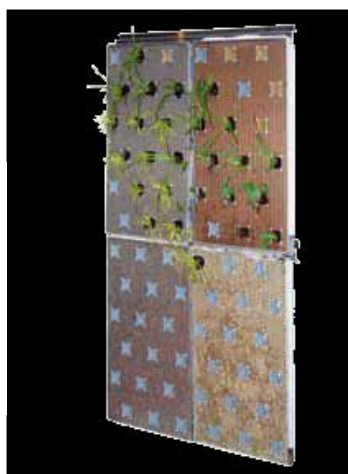
Některé firmy (např. Optigrün) umožňují volbu obou způsobů výsadby rostlin. Rostliny, které jsou snadno vyměnitelné, jsou většinou vysazovány do malých košíků, kde skrz ně mohou prorůst do celého kazetového systému. Základní jednotkou systémového řešení Optigrün je vysoce kvalitní hliníkový kazetový systém naplněný substrátem, který lze dodat naplněný a na vyžádání i předsázený.

Panel obsahuje speciální nasávkovou a kapilární textilií, která slouží k zadržování vody a její distribuci rovnoměrně do všech fasádních prvků (odolná proti hnilobě i vysokému tlaku), hliníkovou kazetu plněná substrátem s akumulací schopností 20 l/m<sup>2</sup> s možností různých barevných provedení povrchu s připravenými otvory pro rostliny. Standartní rozměry vyráběných panelů jsou 100 x 60 cm. Systém je napojen na kapkovou závlahu automatickým zavlažovacím systémem s dálkovým ovládním.

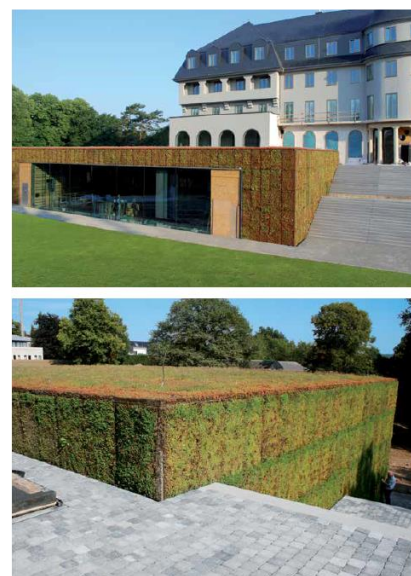


1. hliníkový rám
2. závěsná lišta
3. fasádní klec
4. nasávková textilie
5. kapková závlaha
6. drenážní kanál

Obr. 2-65: Řez systémem Optigrün



Obr. 2-66: Stabilní hliníkový sendvičový panel vyplněný substrátem s osazenými umělohmotnými hrnký pro osazení rostlin



Obr. 2-67: Parlament Eupen, Německo, 2013



Příklad vývoje vegetace vertikální zahrady f. Optigrün během několika měsíců:



Obr. 2-68: Duben – čerstvě osázená fasáda



Obr. 2-70: Červenec – fasáda je plně ozeleněná



Obr. 2-69: Květen – cca 6 týdnů později, 50% ozelenění



Obr. 2-71: Říjen – vegetace ukazuje podzemní aspekt

Některé firmy (např. Optigrün) umožňují volbu obou způsobů výsadby rostlin. Rostliny, které jsou snadno vyměnitelné, jsou většinou vysazovány do malých košíků, kde skrz ně mohou prorůst do celého kazetového systému.



Obr. 2-72: Modulární systém vegetačních panelů s hydrofilní minerální vlnou BioTile [25]



Obr. 2-73: Exteriérová živá stěna bytového domupomocí modulů BioTile, Velká Británie, 2018 [25]

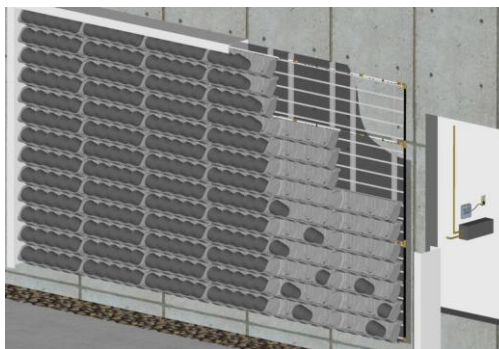


Obr. 2-74: Skládání modulů dle tvaru fasády [25]

Tento modulový systém je velmi variabilní a lze jej přizpůsobit každému tvaru objektu. Minerální vlna nemění velikost, poskytuje rostlinám ideální prostředí pro růst kořenů a časem nedegraduje.

### 2.6.2.2 Truhlíky a květináče

Systémy původně vyvinuté pro interiérové realizace využívající standartní květináče nebo prefabrikované kontejnery zavěšované nebo ukládané na nosné konstrukce se závlahou se stále častěji objevují i v realizacích exteriérových.



Obr. 2-75: Systém Versa Wall XT f. GSky Plant Systems Inc [26]



Obr. 2-76: Fasáda Vancouver International Airport, 2009 [26]

Tento systém nabízí v posledních letech také stále více českých firem zabývajících se zelenou architekturou a tím se vertikální zelené fasády stávají pro investory dostupnějšími. (viz. kap. 2.7.1)

### 2.6.2.3 Žlabové systémy

Žlabové prvky vyplněné obvykle substrátem obdobných vlastností jako při extenzivním ozelenování střech, kotvených na nosnou konstrukci. Tyto systémy jsou vhodné především pro výrazně suchovzdorné rostliny (rod *Sedum*).



Obr. 2-77: Budova MA 48, Vídeň, 2011 [27]



Obr. 2-78: MA 48 – experimentální fasáda Univerzity BOKU [27]



Obr. 2-79: Detail žlabového systému na budově MA 48 [27]



Pilotní projekt vídeňské univerzity BOKU jedinečných rozměrů byl dokončen v září 2010. Cílem plánování bylo učinit zděnou budovu šedesátých let bez tepelné izolace v průběhu procesu renovace inovativnější a efektivnější a dát společnosti MA 48 a městské části novou a „zelenou“ tvář. Na fasádě je umístěno 850 m<sup>2</sup> zeleně kotvené k fasádě s 2850 běžnými metry hliníkových žlabů, 17 000 rostlin, zejména trvalky, trávy a byliny. Zavlažování je zajištěno více než 3 500 běžnými metry kapacích hadic. V systému zavlažování 12 individuálně regulovatelných přívodních potrubí zásobuje rostliny vodou, potřebu zavlažování zaznamenávají senzory. BOKU ve svém výzkumném projektu sleduje mikroklimatické vlivy, jako je teplota a vlhkost vzduchu před fasádou, za ní, vlhkost půdy a vyzařované teplo, jakož i vodní bilance, fyzikální účinky budovy a hromadění biomasy. 850 m<sup>2</sup> zelené fasády zajišťuje transpirační výkon a produkci kyslíku jako 4 plně vzrostlé 100leté buky nebo výkon 75 klimatizačních chladicích jednotek s provozní dobou 8 hodin a výkonem 3 000 W.

Žlabové systémy zelených stěn na našem trhu nabízí jako svůj patent f. Liko-S jako systém mokřadních fasád ve formě kořenových čističek odpadních vod (viz. kap. 2.7.1).

#### 2.6.2.4 Porézní povrchy stěn

Systém využívající porézní povrchy fasád jako bezprostřední nosné médium pro rostliny vyvinula a dále rozvíjí Univerzita technologie v Holandsku (Delft University of Technology). Jedná se o speciální úpravu fasády, kde není použita konstrukce. Rostliny rostou přímo na fasádě. Takovouto fasádu tvoří dvě vrstvy betonu - jedna část se skládá z vnitřní nosné vrstvy betonu, druhá je vyplněna substrátem, který tvoří prostředí pro rostliny. Systém nepotřebuje závlahu, ale sortiment rostlin je omezený. Tento způsob ozelenění přednesl Ing. Samuel Burian na odborném semináři o zelených fasádách v Brně 2012.



Obr. 2-80: Betonové panely v botanické zahradě Delft University of Technology [12]

### 2.6.3 Plošné konstrukce

Plošné konstrukce mají pěstební prostory pro rostliny sestavené – alespoň částečně – z plošných materiálů dodávaných na „běžné metry“. Rostliny do nich mohou být vysazovány až po jejich instalaci na stěně a případná výměna jejich částí je (poměrně) komplikovaná [1]. Nejčastějšími variantami jsou:

#### 2.6.3.1 Pěstování bez substrátu - Textilní systémy

Tyto systémy jsou založené na principu hydroponie, které mají obvykle dvě vrstvy syntetické vysoce nasákové textilie (plsti), které jsou připevněny na nenasákové plastovou nosnou desku. Textilie představují vegetační nosnou vrstvu, které mohou být z materiálu, který má vhodnou pórovitost, nasákovost či neutrální pH. Nejčastějším příkladem textilního systému je známý „Mur Végétal“ od Patricka Blanca. Ostatní výrobci mají princip podobný.



Obr. 2-81: Quai Branly Jacques Chirac museum, Paris, 2004, 13 let po osázení [28]

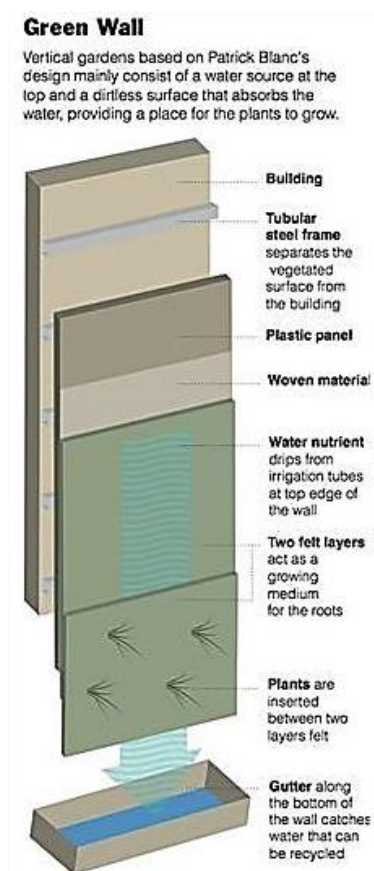


Obr. 2-82: Museum of Contemporary Art, Busan, Jižní Korea, 2018 [28]

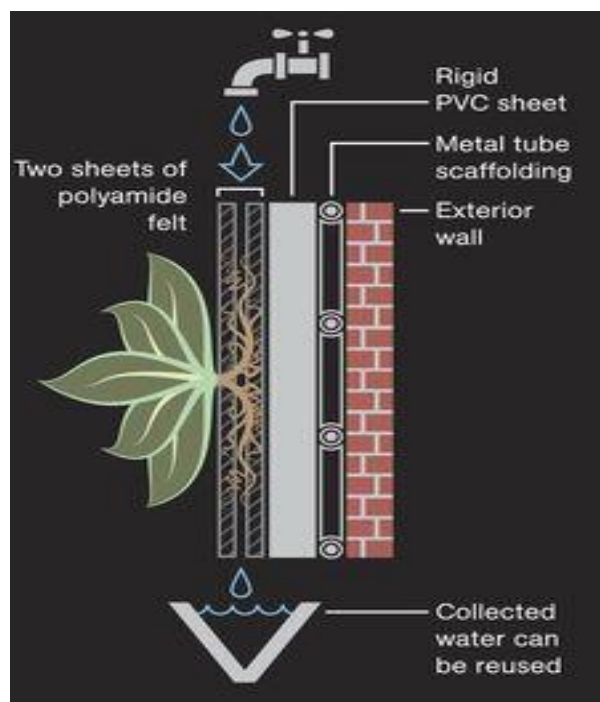
Sortiment rostlin není tak omezený jako u kazetového systému, lze zde použít i dřeviny a bujně rostoucí rostliny. Závlaha je formou kapkového zavlažovacího systému rozvedena pomocí hadic do celého systému, kde buď pomocí vlhkostních čidel, nebo časovače je spouštěna. Spolu s vodou koluje i dávka živin, jejíž složení bývá utajováno.

Nevýhodou těchto systémů je, že v našich podmínkách ve venkovním prostoru vymrzají, takže jsou spíše vhodnější do interiérů. Při výpadku závlahového systému rostliny rychleji odumírají a obecně mají rostliny díky této bezsubstrátové technologii vysoké nároky na výživu.

Blancův patentovaný systém je tvořen kovovou nosnou konstrukcí uchycenou k nosné stěně či stojící samostatně a PVC fólií, na níž jsou připevněny 2 vrstvy nasávkavé zahradnické plstě, která napodobuje mech a rostliny v ní zakoření. Jednotlivé rostliny jsou uchyceny v zářezech plsti a rozmístěny po celé ploše stěny. Zavlažování takovéto stěny je zajištěno elektronicky sítí zavlažovacích trubic, které přivádějí k rostlinám vláhu a minerální látky důležité pro jejich růst. Přebytečná voda je ve spodní části zelené stěny zachycována v odtokovém kanálu a znovu odvedena do uzavřeného okruhu zavlažování.



Obr. 2-83: Skladba zelené stěny Patricka Blanca [2]



Obr. 2-84: Schéma fungování hydroponického systému [28]



System pracuje s kombinací rostlin, vybraných na základě technických parametrů a proměnných jako je klima a umístění zelené stěny. Rostliny rostou na textilií, s použitím techniky hydroponie. Základem je modulární konstrukce oddělená od stěny tak, aby bylo zajištěno větrání a hydroizolace. Zavlažování a hnojení je plně automatické a autonomní. Tento systém má velmi nízké nároky na údržbu. Hmotnost konstrukce s rostlinami je asi 50 kg/m<sup>2</sup>, tloušťka konstrukce je omezena na pouhé 4 cm. Hustota osázení rámu je zhruba 30 rostlin/m<sup>2</sup>, systém je výhodný jednoduchou údržbou – rostliny stačí jednou za rok ostříhat a odstranit suché listy. Díky nízké hmotnosti je možné vertikální zahrady realizovat na stěny libovolné výšky a plochy, na sloupech a dalších konstrukcích ve venkovních i vnitřních prostorách a téměř při jakýchkoliv klimatických a světelných podmínkách. Na našem trhu Blancovu technologii zelené stěny nabízí např. italská firma Sundar Italia nebo Matouš Hydroponie.



*Obr. 2-85: Ozeleněné zavěšené sloupy v exteriéru Pérez Art Museum, Miami, 2013 [28]*



*Obr. 2-86: Rain Forest Chandelier by Patrick Blanc, EmQuartier, Bangkok, 2015 [28]*

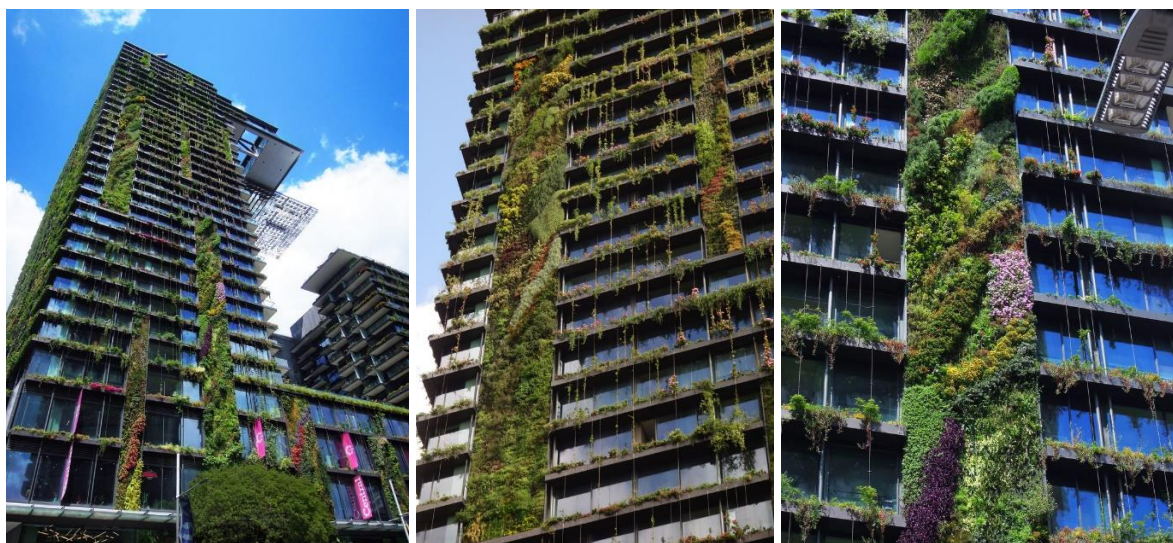
### 2.6.3.2 Systémy z textílie a substrátu

Představují jakýsi kompromis mezi (spolehlivými, ale těžkými) kazetovými systémy a (méně spolehlivými, ale lehkými) textilními systémy. V těchto systémech se může objevovat klasický půdní substrát, rašeliník, minerální substrát (láva) nebo skelná (kamenná) vlna. Substrát je na povrchu kryt netkanou textilií se štěrbinami nebo kruhovými otvory pro výsadbu rostlin. Co se týče celkové konstrukce a upevnění, ztotožňuje se ve velké míře s textilními systémy, rozdíl je hlavně v substrátu, který je uložený ve štěrbinách, kruhových otvorech či v kapsách. Tyto systémy jsou spolehlivější v exteriérových podmínkách střední Evropy. Ve venkovních prostorech je více uplatnitelný, především v mrazech, kdy substrát chrání rostliny před úhynem.



## 2.6.4 Kombinovaný systém

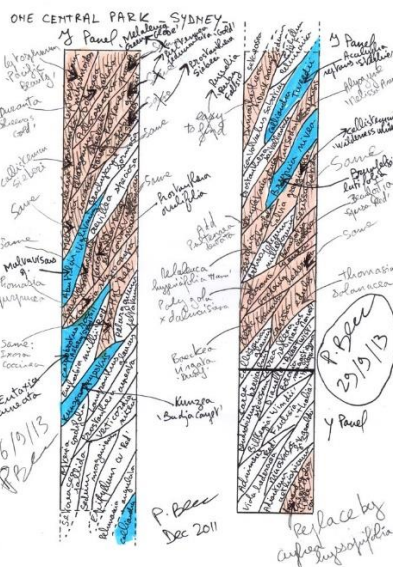
Systémy ozelenění budov kombinující plošné, kazetové, truhlíkové systémy vertikálních zahrad s lankovými systémy pro popínavé rostliny se v posledních letech stále více uplatňují při řešení fasád výškových budov převážně v centrech velkých měst. Na projektu již od začátku pracuje architekt spolu s botanikem a zeleň se tak stává nedílnou součástí architektonického výrazu celého díla. Velmi zdařilým příkladem je spolupráce architekta Jeana Nouvela a botanica Patrica Blanca na realizaci One Central Park v Sydney z roku 2013 a Le Nouvel v Kuala Lumpur z roku 2016.



Obr. 2-87: Zazeleněná fasáda One Central Park, Sydney, 2014 - rok po osázení [28]



Obr. 2-88: Dokumentace fasád ateliéru Jean Nouvel z roku 2009 [28]



Obr. 2-89: Návrh osázení plošných panelů Patrica Blanca z roku 2013 [28]

## 2.7 Systémy exteriérových vertikálních zahrad v České republice

Na území České republiky se v posledních letech rozšířily převážně interiérové realizace vertikálních zahrad. Předchůdcem exteriérových realizací vertikálních zelených stěn u nás je 58° zelená střecha Kulturně obchodního centra Nový Smíchov Doc. Pavla Šimka z r. 2001, kde bylo poprvé nutné řešit ukotvení substrátu a zavlažování. Řešení této strmé střechy vychází z použití zatravnovacích panelů z recyklovaných plastových materiálů. Tyto předpěstované panely byly použity ve dvou vrstvách, z nichž každá byla 5 centimetrů silná. Do hydroizolace byly zapouštěny kotvy (trny) se závitem a pomocí matek s podložkami byly panely připevněny ke střeše. Vždy po 2,5 metrech byly v panelech vynechány dilatační spáry vyplněné minerální vlnou. Po nasypání do panelů byl substrát překryt protierozními rohožemi. Spodní vrstvu tvoří polypropylenová textilie, kterou velmi dobře prorůstají kořeny trav. Výsev rostlin do panelů prováděla realizační firma s dostatečným předstihem před montáží.



Obr. 2-90: Strmá střecha centra Nový Smíchov, Praha [29]



Obr. 2-91: Stav před realizací zelené fasády



Obr. 2-92: Plně prokořeněný panel [29]

### 2.7.1 Modulární systémy v exteriérových realizacích

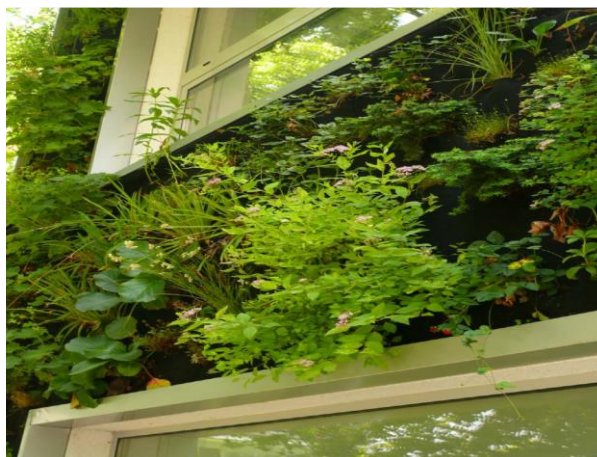
Přesto, že se zelené fasády v současné architektuře uplatňují stále častěji, není u nás jejich rozšíření stále ještě na takové úrovni jako v jiných evropských státech a na nízké úrovni je i podvědomí o možnostech jejich uplatnění. Realizace větších exteriérových vertikálních zahrad je v České republice zatím v počátcích díky velkým finančním nákladům na provedení a následnou údržbu a provoz těchto fasád. Prvními vlašťovkami byly testovací exteriérové realizace firmy Němec Luxusní povrchy (ve spolupráci s firmou Datura), která je hlavním tuzemským výrobcem patentovaného systému Kaskádových zahrad, která svou chráněnou technologií nabízí i k volnému prodeji a následné realizaci svépomocí podle montážního návodu. Tvoří jej



systém samozavlažovacích truhlíků, do kterých se zavěšují jednotlivé květináče s rostlinami. Na plochu 1 m<sup>2</sup> se vysazuje 30 až 35 rostlin. Z těchto rostlin a květin je možné poskládat barevné obrazce dle vlastní fantazie. Kaskádové zahrady jsou zavlažovány naprogramovaným systémem perforovaných trubek umístěných na vrcholu stěny. Voda, obohacená živným roztokem minerálních látek potřebných pro růst rostlin, stéká po stěně a nasákne se do vegetativní textilie. Konstrukce je velmi lehká a může se použít na libovolně široké i vysoké stěny.



Obr. 2-93: Experimentální fasáda showroomu f. Němec v Praze

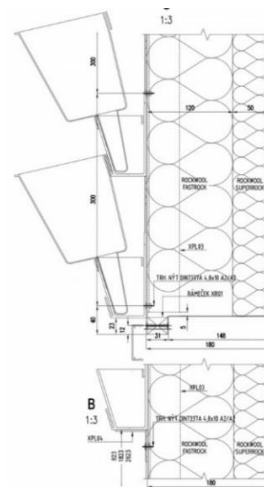


Obr. 2-94: Detail fasády v letním období

Nejnovější exteriérovou realizací zelené fasády f. Němec je administrativní budova AFI Karlín Butterfly z roku 2018, kde je modulární systém samozavlažovacích truhlíků na fasádách objektu použit v kombinaci s lehkým obvodovým pláštěm. Technicky je fasáda tvořena několikvrstevným závěsným stěnovým systémem složeným z vysoce kvalitního trojitého zasklení s pokovenou vrstvou, vnějších elektricky ovládaných textilních žaluzií, kovových izolovaných panelů KINGSPAN a více než 40 000 živých rostlin s automatickým zavlažováním. [30]

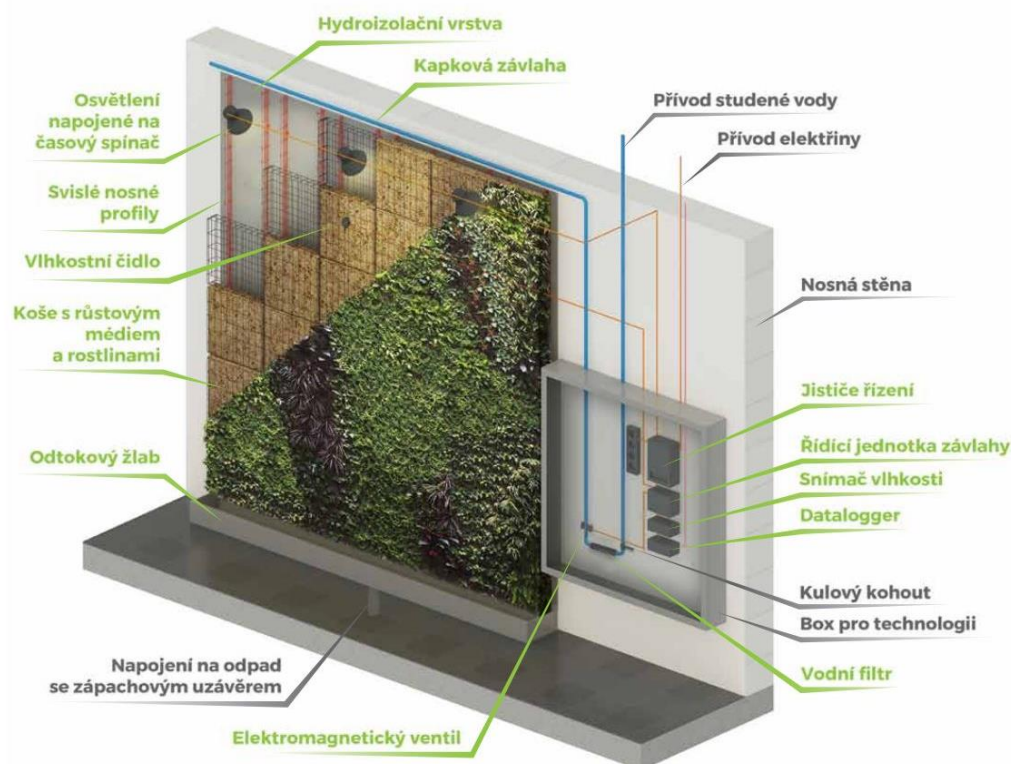


Obr. 2-95: Administrativní budova AFI Karlín Butterfly v Praze, 2018 [30]



Obr. 2-96: Detail zelené fasády f. Němec [30]

Dalším modulárním systémem, který vyvinula česká firma ArchVegetal, je systém nerezových košů plněných rašeliníkem zavěšovaných na plně nerezových zádech, které jsou kotveny do stávající zdi. Zeď je dokonale ošetřena proti vlhkosti několika hydrofóbními vrstvami. Mezera mezi zdí a koši s rašeliníkem zajišťuje cirkulaci vzduchu. Převážně je tento systém realizován v interiérech či krytých atriích.



Obr. 2-97: Funkční schéma zelené stěny f. ArchVegetal [31]



Obr. 2-98: Kancelářská budova Jindřišská, Praha (5000 živých rostlin), (2014) [31]



Obr. 2-99: Kryté atrium polikliniky Medispol, Brno-Žabovřesky (2016) [31]



Obr. 2-100: Intenzivní zelená fasáda prvního 3D tištěného domu Prvok v České republice, 2020 [31]

Na této fasádě byl využit nový systém závěsných truhlíků a květináčů Florapanel f.ArchVegetal (od r. 2020 f. FloraUrbanica).



Stále častěji používaným modulárním systémem zelených fasád, kterým se v našich klimatických podmínkách objevil, je nejnovější patentovaný systém mokřadní fasády Ing. Michala Šperlinga z firmy Liko-S,a.s., která je biologickým filtrem předčištěné odpadní vody administrativního objektu firmy Liko-S u Slavkova dokončeného v září 2015.



*Obr. 2-101: Kancelářská budova Liko-Noe, f. Liko-S, Slavkov u Brna, 2015 [32]*



*Obr. 2-102 Liko-Noe - Detail mokřadní fasády z nerezových kazet a detail fasády ze závěsných košů vyplněných substrátem [32]*

Dle autora patentu mokřadní fasády je fasáda soustavou nad sebou umístěných nerezových kazet vyplněných substrátem částečně nasyceným vodou. V kazetách rostou mokřadní rostliny, které vyživuje protékající voda. Do mokřadní střechy a fasády může být přiváděna mechanicky předčištěná odpadní voda, která může být průtokem fasádou dále čištěna. Další plochy zelené fasády jsou tvořeny zavěšenými vegetačními koši osázenými převážně travinami.



*Obr. 2-103: Průmyslová hala Liko Vo, Slavkov u Brna, 2019 [32]*



*Obr. 2-104: Mokřadní fasáda na Liko-Vo [32]*

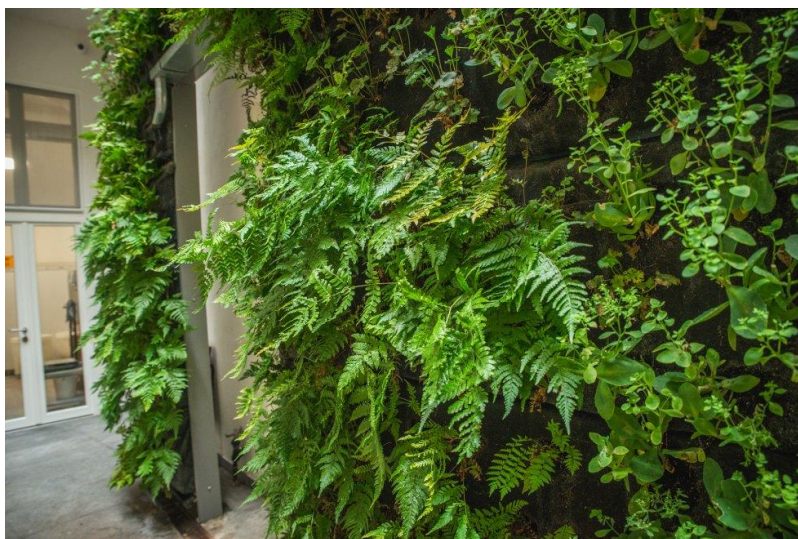
Ve spolupráci s prof. Ing. arch. Zdeňkem Fránkem realizovala f. Liko-S v roce 2019 na svých pozemcích první „živou“ průmyslovou halu na světě Liko -Vo, která také na svých fasádách kombinuje oba systémy ozelenění. Zelené fasády budovy nejen chladí své okolí i interiér, ale spolu se zelenou střechou plní funkci kořenové čistírny odpadních vod.

## 2.7.2 Plošné systémy

Plošné systémy zelených stěn, zejména hydroponické, byly v posledním desetiletí využívány převážně pro interiérové realizace. Rozmach exteriérových instalací nastal v posledních deseti letech, kdy tyto systémy, převážně na bázi minerální agrovaty a substrátu, získávají u investorů na oblibě. Zástupcem dodavatelských firem tohoto systému je firma Květ z Blažovic u Brna, jejíž první realizací byla v roce 2019 vertikální zahrada v otevřeném atriu čtyřpodlažního objektu na Zelném trhu v Brně.



Obr. 2-105: Vertikální zahrada v atriu objektu na Zelném trhu [33]



Obr. 2-106: V zastíněné spodní části fasády se po instalaci dodatečného osvětlení dobře daří zejména kapradinám. [33]

Tato realizace má vlastní hliníkovou nosnou konstrukci odsazenou od obvodové konstrukce budovy. Přísun vody k rostlinám je zajištěn integrovanou automatickou závlahou, která je nastavena dle ročních období. Přebytková voda je sbírána u paty vertikální zahrady, svedena do zásobní nádoby, přečištěna a spolu s přidávanými živinami znovu použita zavlažovacím systémem. Zatím poslední rozsáhlou realizací vertikální zahrady této firmy je zelená fasáda přístavby Kanceláří Veřejného ochránce práv (KVOP) na ul. Údolní z roku 2019 (více viz. kap. 6.3).



Obr. 2-96: Severozápadní pohled na zelenou fasádu přístavby KVOP



### 3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Předmětem disertační práce je výzkum věnující se tématu ozeleňování fasád, zejména pomocí systémů nespojených s volnou půdou. Jelikož jsou poznatky k této problematice zatím málo zdokumentované a realizací zelených fasád těchto systémů v naší republice zatím není mnoho, jsem se na základě těchto skutečností rozhodla vytvořit vlastní reálný model fasádního systému vegetačních vertikálních stěn v klimatických podmínkách České republiky s místními taxony rostlin.

Na základě zjištění čerpajících z aktuálně dostupných podkladů k jednotlivým systémům vertikálních zelených stěn, technických podkladů výrobců materiálů užívaných ve skladbách těchto stěn i další převážně zahraniční literatury jsem musela konstatovat, že současné podklady k problematice vertikálních zelených stěn jsou zatím velmi omezené a uváděné zkušenosti a poznatky nejsou hlavně v našich klimatických podmínkách dostatečně ověřeny.

Původním cílem disertační práce bylo:

1. Vytvoření reálného modelu systému vertikálních zelených stěn pomocí mechorostů bez integrované závlahy
2. Monitorování růstu mechorostů v průběhu ročního cyklu
3. Měření teplotních polí na tomto systému zelené fasády
4. Vyhodnocení naměřených hodnot a jejich porovnání s obdobným tzv. nulovým případem (tj. stěnou bez vertikální zelené plochy)

Po provedení reálného modelu mechorostových fasád, kdy se směr výzkumu ukázal jako velmi problematický, byly cíle přehodnoceny a změněny takto:

1. Vytvoření reálného modelu systému vertikálních zelených stěn ze stálezelených rostlin s integrovanou závlahou
2. Monitorování růstu použitých taxonů rostlin v průběhu ročního cyklu
3. Měření teplotních polí na konkrétním objektu s obdobným systémem vertikálních zelených stěn
4. Vyhodnocení naměřených hodnot a jejich porovnání s obdobným tzv. nulovým případem (tj. stěnou bez vertikální zelené plochy)

Tato disertační práce by měla pomoci při navrhování zelených vertikálních stěn, výsledky by mělo být možné aplikovat ve stavební praxi i při výuce studentů. Zkoumané téma rovněž poskytuje dostatečný prostor pro další teoretickou a experimentální práci.

## **4 METODIKA A ZPŮSOB ŘEŠENÍ PRÁCE**

Metodika zpracování disertační práce je rozdělena následovně:

### **Rešerše**

Úvod do tématu, analýza a souhrn aktuálních poznatků řešené problematiky. Konzultace s odborníky z oboru, prezentace řešené problematiky na přednáškách a konferencích, spolupráce s praxí. Příprava podkladů pro výuku.

### **Teorie**

Teoretický rozbor faktorů, které mohou mít vliv na funkčnost testovacích panelů a správný růst rostlin. Příprava realizace konkrétního objektu s instalovanou zelenou fasádou.

### **Experimentální část**

Návrh zkušebních panelů systému vertikálních zahrad. Výběr vhodných materiálů pro růstové médium, výběr vhodných taxonů rostlin. Příprava zkušebních panelů a realizace experimentu. Příprava realizace objektu, na kterém bude instalována vertikální zelená stěna. Měření na zazeleněných fasádách a na fasádách bez vertikální zelené plochy. Vyhodnocení naměřených hodnot.

### **Shrnutí a doporučení**

Shrnutí a závěry pro stavební praxi a uvedení dalších možností a rozvoje pro teoretickou a experimentální práci na výzkumném tématu.



## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST VÝZKUMU

### 5.1 Mechové stěny

Realizace mechových stěn v převážně interiérech získává mezi architekty na velké oblibě, kdy je možné velké plochy osázet ať už živým mechem nebo mechem mumifikovaným. Mechové stěny jsou nenáročné na údržbu, nepotřebují živiny, vodu potřebují pouze v období rozmnožování a je možné je pěstovat i bez substrátu. Popularita mechu mezi architekty a designery stoupá také vzhledem k faktu, že mechu se dobře daří ve stinných částech budov. Vývoj fasádních mechových stěn je zatím v počátcích, první firmou, která se na našem trhu zabývá možností vytvoření venkovní mechové stěny je firma Fresh Concepts, která realizuje tyto stěny z porézniho kamene, místního substrátu a mechu.

Prvním návrhem modelu vertikálních zelených stěn bylo vytvoření nového specifického systému zelených fasád tvořených mechy a mechorosty bez integrované závlahy. Závlaha mechů je nutná pouze v počátečních stádiích růstu, následně mech absorbuje vzdušnou vláhu. Proto byly testovací panely v prvních týdnech zalévány postřikem.



Pro osazování mechových stěn je nutné vycházet z přirozených stanovišť mechu. Pro experiment doktorské práce byl nasbírán mech rostoucí na zídkách, kamenech a kmelech stromů v oblasti Beskyd, Vysočiny a okolí Brna. Po zatřídění se jedná o mech s českým názvem baňatka aksamitová.

Postup řešení realizace mechových stěn:

1. fáze: Sběr mechů a mechorostů rostoucích na území ČR, příprava zkušebního modelu fasádního mechového panelu, příprava materiálu a pokladu pro vertikální nanášení mechu.
2. fáze: Umístění modelu na vhodné stanoviště tak, aby byly zajištěny patřičné podmínky pro měření během celého roku.

Pro testování panelů ve vertikální poloze byla použita severozápadní stěna testovacího objektu experimentální dřevostavby, který je součástí Centra AdMaS, Fakulty stavební v Brně.

Příprava testovacích panelů probíhala v dílnách Ústavu pozemního stavitelství Fakulty stavební v Brně v květnu 2017, kde bylo vyrobeno 12 testovacích panelů se čtyřmi podkladními růstovými médii. Jako záda panelů byly použity dřevotřískové OSB desky rozměru 600/800 mm, které byly proti vlhkosti chráněny PE fólií a geotextilií. Horní a spodní hrana panelů byla vytvořena děrovaným plechem pro odtok přebytečné vody v systému.



*Obr. 5-1: Příprava testovacích panelů v dílnách ÚPST, zdroj: autor*

Jako podkladní médium byly zvoleny substrátové desky Isover Flora, které plně nebo částečně nahrazují substrát v konstrukcích vegetačních střech. Dalším růstovým médiem byly zvoleny desky z recyklované plsti s obsahem bavlny, které jsou v Centru AdMaS testovány pro vegetační šikmé i ploché střechy, jako třetí médium byly zvoleny desky z konopného pazdeří, využívané jako tepelná izolace a jako poslední podkladní médium byl zvolen substrát s rašelinou a hydrogelem.



*Obr. 5-2: Růstové médium-agrovata Isover Flora*



*Obr. 5-3: Růstové médium-plst' s bavlnou*



*Obr. 5-4: růstové médium-rašelina s hydrogelem*

Na připravená podkladní média byla položena vrstva mechu a zajištěna poplastovaným pletivem pro instalaci ve svislé poloze. Hotové panely byly převezeny na venkovní



testovací plochu centra AdMaS , kde byly před instalací na testovací objekt ponechány 3 měsíce ve vodorovné a posléze nakloněné poloze.



*Obr. 5-5: Hotový mechový panel*



*Obr. 5-6: Panely na testovací ploše centra AdMaS*

Před instalací na testovací objekt bylo patrné, že substrát s rašelinou jako podkladní médium nebylo vhodně zvoleno, panely se při polohování do svislé polohy velmi sesedaly a vrstva mechu byla potrhána působením hydrogelu. Proto nebyly při instalaci na svislou stěnu použity. Pro montáž panelů do svislé polohy byla zvolena severní strana testovacího objektu.

Již v průběhu uložení panelů ve vodorovné poloze na testovací ploše bylo patrné, že v klimatických podmínkách dané lokality mechové panely bez závlahy neprosperují a mech usychá. Proto bylo při instalaci panelů do svislé polohy přistoupeno k realizaci kapkové závlahy solárním zavlažovacím systémem, který využíval dešťovou vodu zachycenou do dešťového barelu ze střechy testovacího objektu. Spodní řada panelů byla ponechána bez závlahy k porovnání.



*Obr. 5-7: Neprosperující panely bez integrované závlahy*



*Obr. 5-8: Potrhaný panel působením hydrogelu*

Bylo však nutné konstatovat, že ani integrovaná závlaha panelů na růst mechu neměla příliš vliv a mech v daných klimatických podmínkách neprosperoval. Dařilo se mu pouze ve spodních částech panelů, kde růstové médium dokázalo zadržet do určité výšky vodu.





*Obr. 5-9: Mechové panely instalované na testovacím objektu v Centru AdMaS, 09/2017*



*Obr. 5-10: Růst mechu pouze ve spodních částech zavlažovaných panelů*



*Obr. 5-11: Sesedání a schnutí panelů 04/2018*



*Obr. 5-12: Konec experimentu 08/2018*

Na konci podzimu byla kapková závlaha odpojena a až do konce března byly testovací panely bez vody. Již na začátku roku 2018, kdy i po znovu zapojení závlahy mechové stěny neprosperovaly a růst mechů stagnoval, bylo nutné konstatovat, že tento směr návrhu systémů vertikálních zelených stěn nebyl funkční a mech jako vegetace pro svislé zelené stěny nebyl vhodně vybrán. V našich klimatických podmínkách, kdy hodnota vlhkosti v ovzduší, ze kterého mech čerpá primárně vláhu, je hlavně v letních měsících nízká a mech i při integrované závlaze usychá.

Proto jsem se v květnu 2018 rozhodla vytvořit nový testovací panel vertikální zelené stěny vycházejících z poznatků neúspěšného prvního experimentu a řešit ozelenění pomocí taxonů stálezelených rostlin vhodných k pěstování v našich klimatických podmínkách.






## 5.2 Panely ze stálozelených rostlin

### 5.2.1 Příprava testovacích panelů

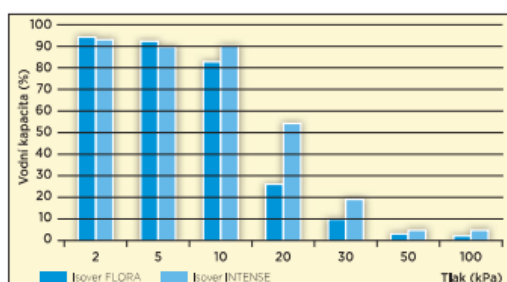
Pro panely se stálozelenými rostlinami byly vybrány jako růstové médium substrátové desky z hydrofilní minerální vlny Isover Flora a Isover Intense, které jsou převážně používány v konstrukcích vegetačních střech, kde plně nebo částečně nahrazují substrát. Desky jsou lehké a vzdušné, ale hlavně byly vybrány pro svou výbornou vodopropustnost, kdy však určité množství vody v deskách vždy zůstává, takže rostliny tak mohou v deskách spolehlivě vegetovat i v obdobích, kdy je odpojena kapková závlaha.

Porovnání hydroakumulace různých materiálů uvádí výrobce desek Isover Intense v následující tabulce:

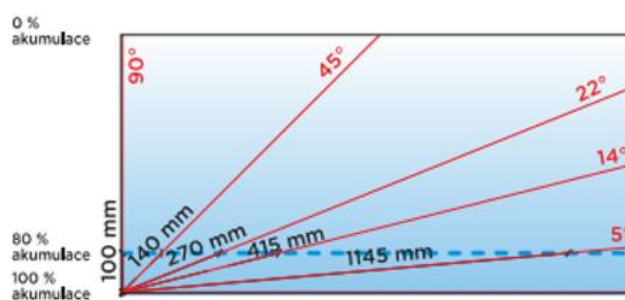
Tab. 5-1: Hydroakumulační schopnosti materiálů používaných pro vegetační střechy a stěny [34]

Materiál	Tloušťka (mm)	Vodní kapacita (l)	Ilustrační obrázek
Akumulační textilie (900 g·m <sup>-2</sup> )	6	6	
Nopová folie	23	6,1	
Extenzivní minerální substrát	50	20	
Intenzivní minerální substrát	50	30	
Hydrofilní vlna Isover INTENSE	50	45	

Pro dostatek vláhy v celé ploše kolmé zelené stěny bylo nutné správně navrhnout zpomalovače odtoku nebo systém umělé závlahy. Ve svých podkladech firma Isover pro desky Flora a Intense uvádí také sílu hydroakumulace, skrze jejich hydraulický profil a retenční křivky.



Obr. 5-13: Hydraulický profil hydrofilních desek [34]



Obr. 5-14: Hydroakumulace desek v závislosti na sklonu [34]

Minerální vlna dokáže bez problémů vydržet tlak 10 kPa při zachování vodní kapacity kolem 80 %. Tlak 10 kPa odpovídá tlaku vodního sloupce o výšce 10 cm.

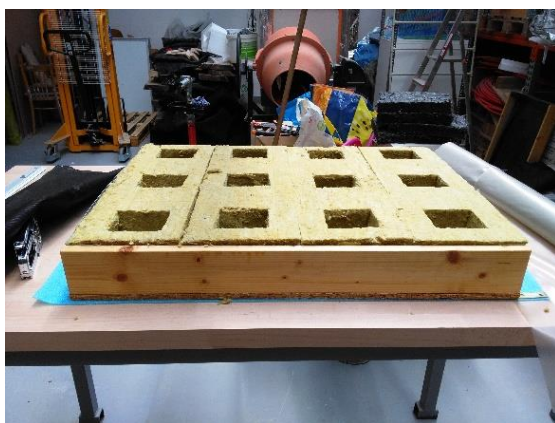
Pro maximalizaci hydroakumulace je tedy nutné šikmou vegetační střechu nebo kolmou stěnu navrhnout se zpomalovači na tuto mez. Pokud ve střeše budou navrženy zpomalovače pod úroveň 40% akumulace nebo nebudou zpomalovače instalovány vůbec, zůstane potenciál vlny nevyužit a střecha nebo stěna bude chřadnout. Minimální hydroakumulaci odpovídá výška vodního sloupce 17 cm u výrobku Isover Flora a 23 cm u výrobku Isover Intense. [34]

Z podkladů výrobce lze zjistit doporučené vzdálenosti mezi zpomalovači odtoku pro různé sklony střech a kolmé stěny.

Tab. 5-2: Doporučené vzdálenosti mezi zpomalovači [34]

Druh střechy	Vzdálenosti mezi zpomalovači odtoku (mm)		
	Doporučená 80% akumulace	Minimální 40% akumulace (Isover FLORA)	Minimální 40% akumulace (Isover INTENSE)
Plochá	-	-	-
Pultová	450-1200	600-1800	900-2400
Šikmá mírná	300-450	450-600	600-900
Šikmá (22-45°)	<b>150-300</b>	<b>200-450</b>	<b>300-600</b>
Strmá	100-150	170-200	230-300
Stěna	100	170	230

Příprava panelů se stálozelenými rostlinami probíhala v opět v dílnách Ústavu pozemního stavitelství Fakulty stavební v Brně. Hydrofilní vlna byla do panelu uložena ve 4 pásech šířky 20 cm. Na základě zkušeností z předchozího experimentu a po konzultacích s odborníky z firmy Isover byla při přípravě panelů jako zpomalovač mezi jednotlivé hydrofilní desky vložena PE fólie. V každém pásu byly vyřezány otvory pro osazení rostlin rozměru 100/100 mm ve vzdálenosti 100 mm od sebe. Tyto otvory byly vyplněny substrátem, překryty geotextilií a zpevněny poplastovaným pletivem. Následně probíhala výsadba vybraných taxonů rostlin.

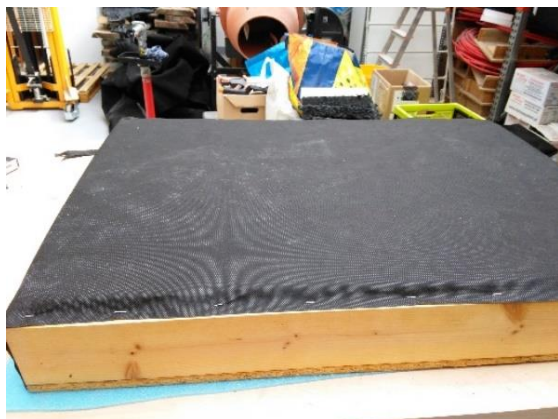


Obr. 5-15: Panel s hydrofilní vlnou s předchystanými otvory pro rostliny



Obr. 5-16: Panel vyplněný substrátem pro výsadbu rostlin





*Obr. 5-17: Panel překrytý geotextilií*



*Obr. 5-18: Osázený panel*

Panely s rostlinami byly uloženy ve vodorovné poloze na venkovních plochách ústavu a zalévány po dobu 3 měsíců, aby zakořenily.



*Obr. 5-19: Zakořenění rostlin ve vodorovné poloze – červenec-září 2018*

V druhé polovině září 2018 byly testovací panely převezeny do Centra AdMaS, kde byly instalovány do svislé polohy na testovací objekt ÚPST.



*Obr. 5-20: Instalace panelů do svislé polohy*



*Obr. 5-21: Připojení kapkové solární závlahy k testovacím panelům, 09/2018*



## 5.2.2 Monitorování růstu rostlin

Instalace testovacích panelů na testovací objekt v centru AdMaS a monitorování růstu rostlin ve svislé poloze v průběhu ročního cyklu.



*Obr. 5-22: Říjen 2018-závlaha*



*Obr. 5-23: Listopad 2018 - závlaha*



*Obr. 5-24: Prosinec 2018 – bez závlahy*



*Obr. 5-25: Leden 2018*



*Obr. 5-26: Únor 2019*



*Obr. 5-27: Březen 2019*





*Obr. 5-28: Duben 2019*



*Obr. 5-29: Květen 2019- obnovena závlaha*



*Obr. 5-30: Červen 2019*



*Obr. 5-31: Červenec 2019*



*Obr. 5-32: Srpen 2019*













*Obr. 5-33: Září/říjen 2019 – demontáž panelů*



### 5.2.3 Rostliny použité na testovacích panelech

Tab. 5-3: Seznam taxonů použitých rostlin a jejich popis dle [35]

Poř.č.	Název	Obrázek	Popis rostliny	Vyhodnocení růstu ve svislé poloze
1.	<b>Dlužicha Midnight Rose</b> <i>Heuchera hybrida 'Midnight Rose'</i>		vzrůst: výška 0,2-0,3 m, šířka 0,3-0,5 m barva listů: vínová + růžová, polo-opadavý doba kvetení: červen – červenec barva květů: růžová stanoviště: slunce, polostín, stín	růst: velmi dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: rok po osázení – červen/červenec vitalita: při závlaze velmi dobře prospívá, po ukončení závlahy uvadá, po obnovení závlahy výborná vitalita
2.	<b>Dlužicha americká, hybrid - Rio</b> <i>Heuchera americana Rio</i>		vzrůst: výška 0,2-0,3 m, šířka 0,3-0,5 m barva listů: oranžová + červená, opadavý doba kvetení: červen – červenec barva květů: červená stanoviště: polostín, stín	růst: velmi dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: rok po osázení – červen/červenec vitalita: při závlaze velmi dobře prospívá, po ukončení závlahy uvadá, po obnovení závlahy výborná vitalita
3.	<b>Dlužicha americká – Palace purple</b> <i>Heuchera hybrid Palace purple</i>		vzrůst: výška 0,3-0,5 m, šířka 0,3-0,5 m barva listů: vínová, opadavý doba kvetení: červen – červenec barva květů: krémová stanoviště: slunce, polostín, stín	růst: velmi dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: rok po osázení – červen/červenec vitalita: při závlaze velmi dobře prospívá, po ukončení závlahy uvadá, po obnovení závlahy výborná vitalita
4.	<b>Dlužicha americká – Marvelous Marble</b> <i>Heuchera americana Marvellous Marble</i>		vzrůst: výška 0,4-0,6 m, šířka 0,3-0,5 m barva listů: vínová + zelená, stálozelený doba kvetení: červen – srpen barva květů: krémová stanoviště: slunce, polostín, stín	růst: velmi dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: rok po osázení – květen/červen vitalita: při závlaze velmi dobře prospívá, po ukončení závlahy uvadá, po obnovení závlahy výborná vitalita
5.	<b>Dlužicha americká – Shanghai</b> <i>Heuchera americana Shanghai</i>		vzrůst: výška 0,2-0,3 m, šířka 0,3-0,5 m barva listů: vínová, stálozelený doba kvetení: květen – srpen barva květů: růžová stanoviště: slunce, polostín	růst: velmi dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: rok po osázení – bez květu vitalita: při závlaze velmi dobře prospívá, po ukončení závlahy uvadá, po obnovení závlahy výborná vitalita

Poř.č.	Název	Obrázek	Popis rostliny	Vyhodnocení růstu ve svislé poloze
6.	<b>Dlužicha americká – Black Taffeta</b> <i>Heuchera americana Black Taffeta</i>		vzrůst : výška 0,3-0,5 m, šířka 0,3-0,5 m barva listů: tmavě purpurová, stálozelený dobu kvetení: červen – srpen barva květů: bílá stanoviště: slunce, polostín, stín	růst: velmi dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: rok po osázení – květen/červen vitalita: při závlaze velmi dobře prospívá, po ukončení závlahy uvadá, po obnovení závlahy výborná vitalita
7.	<b>Dlužicha krvavá – Coral Forest Scarlet</b> <i>Heuchera sanguinea Coral Forest Scarlet</i>		vzrůst : výška 0,2-0,4 m, šířka 0,3-0,5 m barva listů: zelená + modrozelená, opadavý dobu kvetení: červen – červenec barva květů: červená stanoviště: slunce, polostín	růst: velmi dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: rok po osázení – květen/červen vitalita: při závlaze velmi dobře prospívá, po ukončení závlahy uvadá, po obnovení závlahy výborná vitalita
8.	<b>Ostřice – Carex Bicolor Fountain</b> <i>Carex muskin Bicolor Fountain</i>		vzrůst: výška 0,2-0,3 m, šířka 0,3-0,5 m barva listů: krémová + zelená, opadavý dobu kvetení: červenec – srpen barva květů: hnědá stanoviště: slunce, polostín	růst: dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: bez květu vitalita: při závlaze dobře prospívá, po ukončení závlahy usychá, po obnovení závlahy - stagnace růstu
9.	<b>Zběhovec plazivý Burgundy</b> <i>Ajuga reptans Burgundy</i>		vzrůst : výška 0,2 m, šířka 0,3-0,4 m barva listů: zelená + vínová, polo-opadavý dobu kvetení: květen – červenec barva květů: fialová stanoviště: polostín, stín	růst: velmi dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: rok po osázení – květen vitalita: při závlaze velmi dobře prospívá, po ukončení závlahy usychá, po obnovení závlahy a odkvětu - stagnace růstu, úhyn
10.	<b>Tlustonitník klasnatý</b> <i>Pachysandra terminalis</i>		vzrůst : výška 0,3 m, šířka 0,3-0,4 m barva listů: zelená, stálozelený dobu kvetení: duben - květen barva květů: bílá stanoviště: polostín, stín	růst: velmi dobré zakořenění a rozrůstání kvetení: bez květu vitalita: při závlaze velmi dobře prospívá, po ukončení závlahy lehce uvadá, po obnovení závlahy výborná vitalita

Dlužichy na testovacích panelech potvrdily, že se jedná o nenáročné trvalky, spíše půdokryvného rázu. Jejich růst po období vegetačního klidu byl výborný i ve svislé poloze. Velmi dobrou vitalitu vykazoval také tlustonitník klasnatý - stálezelená trvalka s lesklými, sytě zelenými listy.



### 5.3 Měření na fasádách KVOP

Pro další výzkumnou práci na testování vertikálních zelených stěn jsem měla možnost využít zelenou fasádu novostavby přístavby kanceláří k objektu Kanceláří Veřejného Ochránce Práv (KVOP) v Brně, na ul. Údolní, na jejímž návrhu a přípravě jsem se podílela. Systém vertikální zahrady použitý na této realizaci také využívá jako pěstební médium hydrofilní minerální vlnu. Jedná se o systém s integrovanou automatickou závlahou.



Obr. 5-34: Přístavba kanceláří k objektu KVOP, Brno



Obr. 5-35: Umístění objektu přístavby kanceláří, ul Údolní, Brno, zdroj: mapy.cz



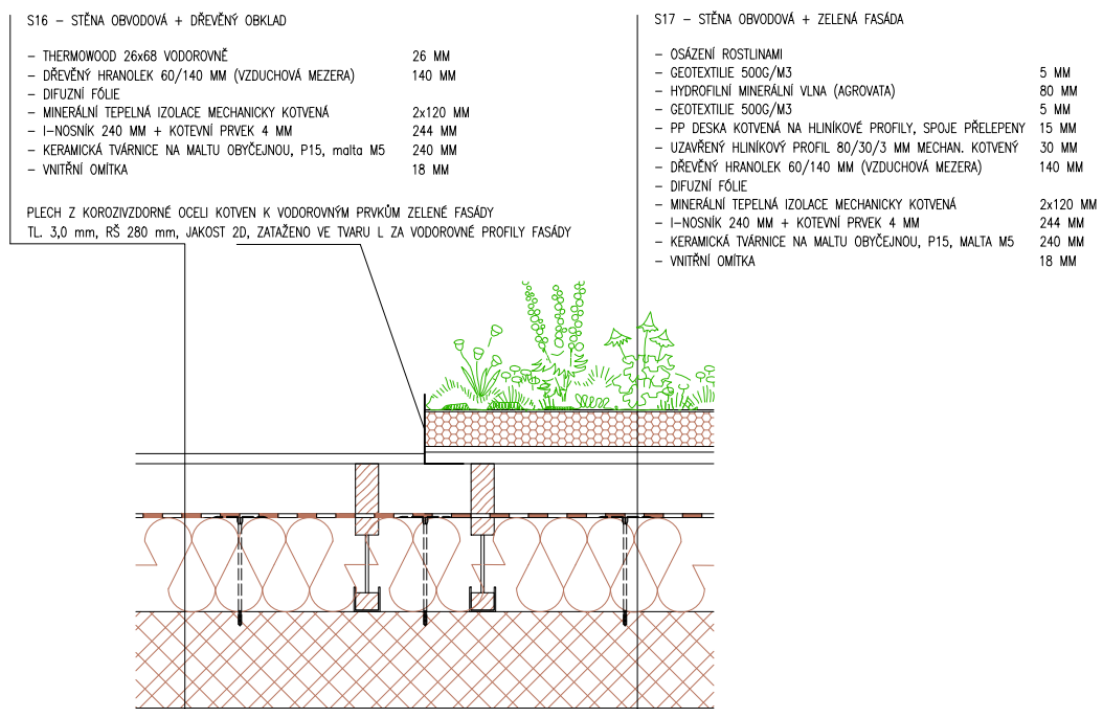
### 5.3.1 Popis testovacího objektu

V roce 2015 byla pro Kancelář veřejného ochránce práv zpracována studie přístavby kanceláří ke stávajícímu administrativnímu objektu na ul. Údolní v Brně. Jedná se o zděný třípodlažní podsklepený objekt obdélníkového půdorysu, jehož podélná osa má orientaci sever-jih. Hlavní vstup do budovy je řešen ze západní strany objektu.

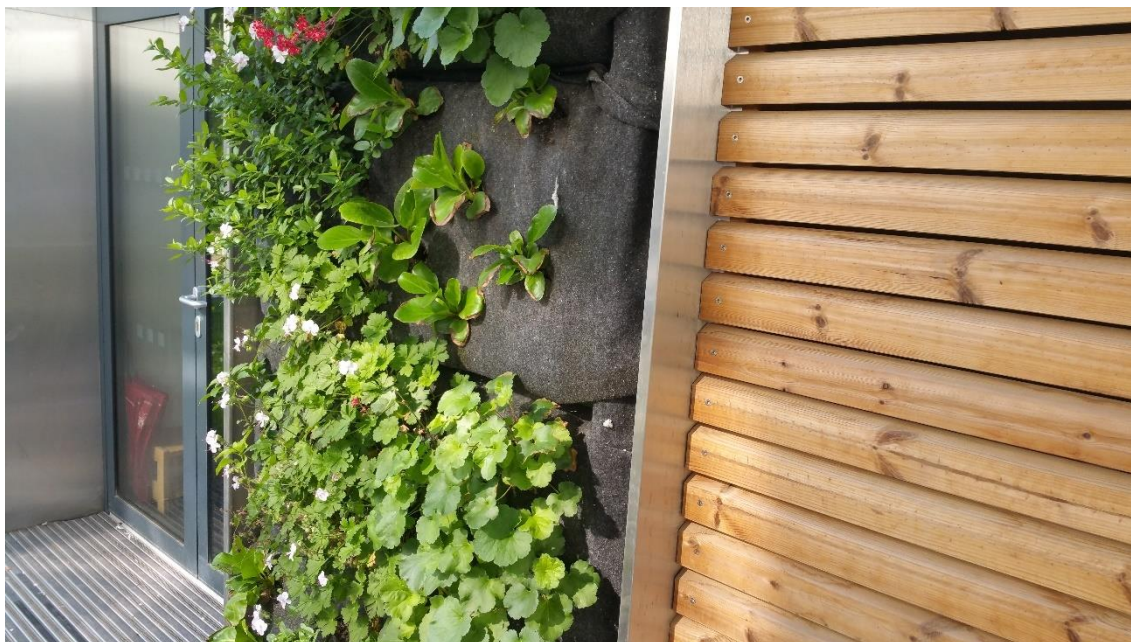
Fasáda objektu byla řešena jako kombinace provětrávané fasády s dřevěným obkladem a plošným systémem vertikálních zahrad. Zelená fasáda byla navržena na části východní a západní fasády a na celé fasádě severní. Fasáda východní a jižní je řešena v provětrávané fasádě s dřevěným horizontálním obkladem. Při realizaci objektu v roce 2017-2019 byl systém zelené fasády instalován na fasádu severní a polovinu fasády západní. Střecha přístavby je řešena jako extenzivní zelená střecha.

Objekt svým umístěním a enviromentálním řešením fasád a střech navazuje na veřejně přístupný park Vzdělávacího a poradenského centra Otevřená zahrada a na zalesněný severní svah hradu Špilberk.

Pro měření teplot byla vybrána fasáda západní, na které je řešena jak fasáda zelená, tak dřevěný obklad fasády.



Obr. 5-36: Řešení západní fasády – napojení dřevěného obkladu a zelené fasády - půdorys



*Obr. 5-37: Detail napojení dřevěné a zelené fasády na západní straně objektu*

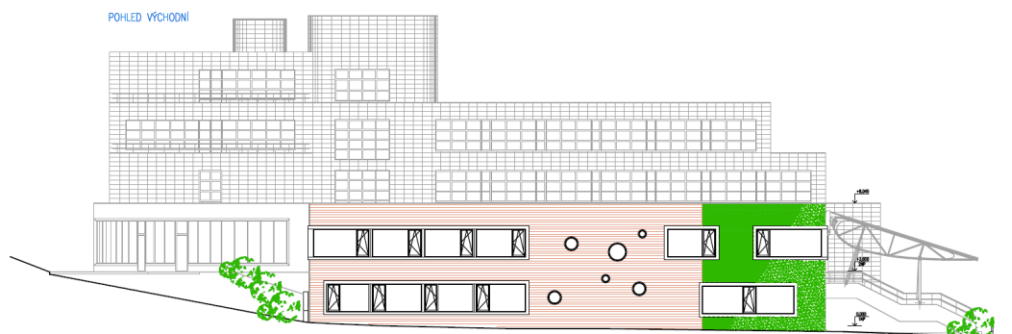
Technologie založení vertikální zelené fasády:

- ukotvení hliníkových profilů 80 x 30 x 3 mm pomocí nerezových šroubů na dřevěnou konstrukci na stěně fasády
- instalace PP desek na hliníkové profily
- montáž geotextilie a agrovaty jako vegetačního substrátu pro rostliny
- umístění okapů nad okna
- provedení automatického závlahového systému včetně technologií
- výsadba rostlin
- odzkoušení a uvedení do provozu závlahového systému

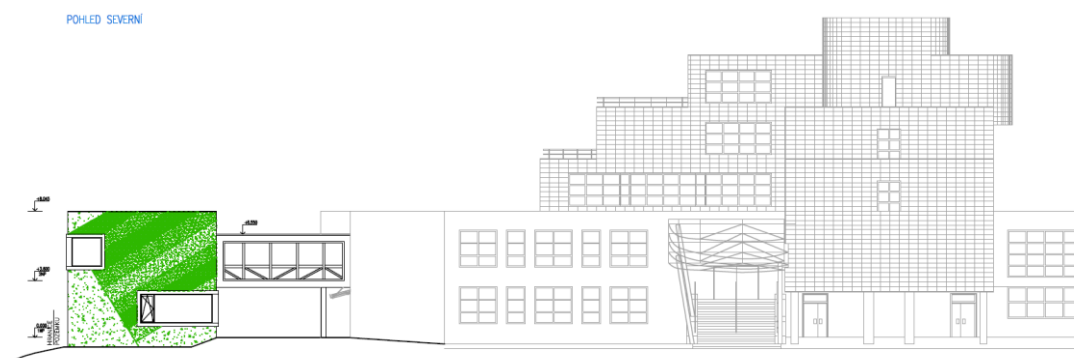
Zdrojem vody pro závlahu zelené fasády je podzemní akumulční nádrž o objemu 22,5 m<sup>3</sup>. Zdrojem vody pro akumulční nádrž jsou veškeré navržené ploché střechy o celkové ploše 609 m<sup>2</sup>. Současně je zavlažovací systém zelené fasády uzavřený a přebytečná voda se vrací zpět do akumulční nádrže. Pro zajištění dostatečného množství vody je ve stanoveném časovém úseku akumulční nádrž doplňována vodou z vodovodního řádu.

Odborná sekce Zelené střechy při Svazu zakládání a údržba zeleně udělila v roce 2020 této realizaci titul Zelená fasáda roku. Mimořádná cena byla udělena za architektonicky zdařilou vertikální zahradu příznivě ovlivňující biodiverzitu a mikroklima s průkopnickou technologií dokládající možnost realizovat funkční vertikální zahrady s předpokladem dlouhodobé udržitelnosti v podmínkách ČR a za příkladné hospodaření s dešťovou vodou.

Studie fasád přístavby Kanceláře veřejného ochránce práv Brno, 2015



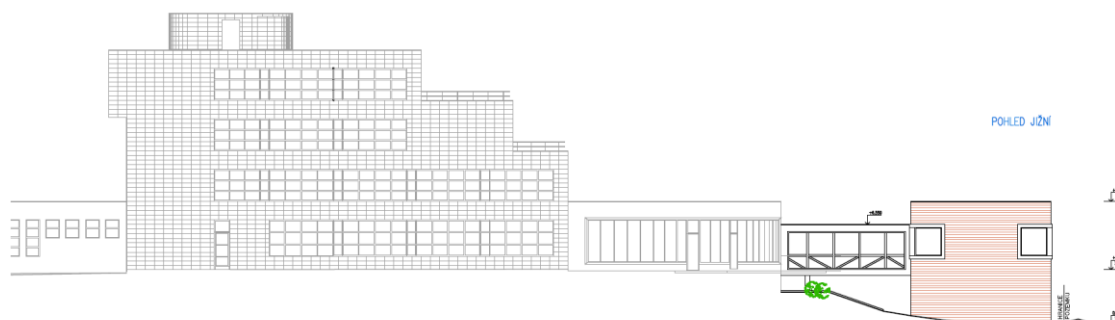
Obr. 5-38: Pohled na původní návrh východní fasády, zdroj: autor



Obr. 5-39: Severní fasáda přístavby, vstup do hlavní budovy Kanceláři Veřejného ochránce práv, zdroj: autor



Obr. 5-40: Západní fasáda přístavby, zdroj: autor

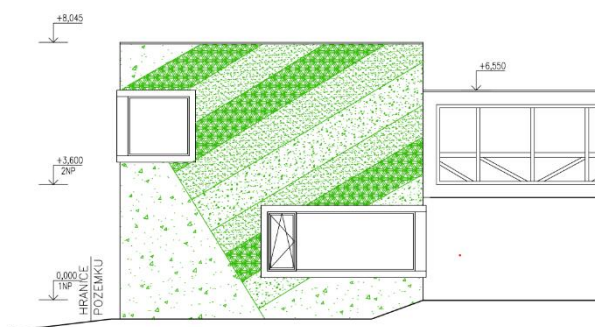


Obr. 5-41: Pohled na dřevěný obklad jižní fasády, zdroj autor





Obr. 5-42: Logo Kanceláře veřejného ochránce práv



Obr. 5-43: Detail severní fasády přístavby inspirovaný logem Veřejného ochránce práv, zdroj: autor



Obr. 5-44: Osázená fasáda dle studie z roku 2015

Výsadba na severní fasádě objektu byla navržena ve tvaru loga Kanceláře veřejného ochránce práv. Každý z pruhů byl vytvořen jedním taxonem rostlin. Pro vytvoření pruhů byly použity rostliny kontrastní barvy. Zbylé části fasády severní a fasáda západní byly osázeny mixem trvalek a dřevin – viz. 6.3.2.



Obr. 5-45: Západní fasáda objektu osázená trvalkami a dřevinami

### 5.3.2 Základní údaje o testovacím objektu

Uvedené údaje byly získány ve spolupráci s generálním projektantem objektu přístavby - Ing. Lukášem Daňkem, PhD. a dodavatelem zelené fasády - firmou Květ.

Tab. 5-4: Kompletní údaje o objektu přístavby KVOP

Základní údaje o objektu	
Objekt	Přístavba Kanceláře veřejného ochránce práv
Umístění	Údolní 658/38, 602 00 Brno-střed
Katastrální území / parc.č.	Město Brno / 703/5, 713/2
Nadmořská výška	235 m.n.m.
Rok realizace objektu	09/2017 – 06/2019
Osazení zelené fasády	05/2019
Generální projektant a autor	LD Projekt - Ing. Lukáš Daněk, PhD.
Spoluautor fasád přístavby	Ing.arch. Ivana Utíkalová
Realizátor zelené fasády	Ing. Jana Vrbasová / firma Květ
Obestavěný prostor	4846,18 m <sup>3</sup>
Zastavěná plocha	315,60 m <sup>2</sup>
Užitná plocha celková	1028,92 m <sup>2</sup>
Funkční jednotky	
Kanceláře	173,85 m <sup>2</sup>
Zasedací místnost	31,20 m <sup>2</sup>
Dětská skupina	74,89 m <sup>2</sup>
Podzemní garáže	465,27 m <sup>2</sup>
Ostatní plochy	283,71 m <sup>2</sup>
Klimatické podmínky objektu	
Klimatická oblast	T2
Průměrná roční teplota	11,7°C
Průměrná teplota v lednu	2,0°C
Nejbližší hydrometeorologická stanice	ČHMU Brno. Žabovřesky
ID stanice	B2BZAB01
Umístění	Kroftova 2578/43, 616 67 Brno-Žabovřesky
Nadmořská výška stanice	236 m.n.m.
Oslunění zelené fasády	Částečné - přímé oslunění pouze část dne
Vertikální zahrada – základní údaje	
Plocha zelené fasády	133,5 m <sup>2</sup>
Orientace ke světovým stranám	S (58,7 m <sup>2</sup> ) + Z (74,80 m <sup>2</sup> )
Pěstební systém	Plošný – textilie + hydrofilní minerální vlna
Počet použitých taxonů	10 (trvalky/dřeviny = 8/2)
Celkový počet použitých rostlin	2392
Investiční náklady na vybudování	1.900.749,- Kč bez DPH (14.238,- Kč/m <sup>2</sup> )

Závlaha	
Typ závlahy	Kapková – kombinovaný závlahový systém
Roční množství vody na zálivku	346,9 m <sup>3</sup>
Z toho - dešťová voda	213,4 m <sup>3</sup>
- z vodovodního řadu	133,5 m <sup>3</sup>
Přísun živin	Automatický přes závlahu
Náklady na systém zavlažování	229.906,- Kč vč. DPH
Náklady na akumulční nádrž	304.902,- Kč vč. DPH
Údržba zelené fasády - frekvence	
Kontrola zavlažovacího systému	1x měsíčně
Zavodňování systému - zimní období	1x měsíčně
Dosadba a pletí rostlin	8x ročně
Řez rostlin	2x ročně
Roční náklady na údržbu zelené fasády	
- servis zavlažovacího systému	42.000,- Kč
- práce ve výškách	155.000,- Kč
- tekuté hnojivo	25.200,- Kč
- dosazené rostliny	32.895,- Kč
Použité taxony rostlin	
Dřeviny - <i>Pyracantha coccinea</i>	1. hlohyně šarlatová
- <i>Juniperus horizontalis</i>	2. jalovec poléhavý
Trvalky - <i>Bergenia cordifolia</i>	3. bergénie tučnolistá
- <i>Geranium cantabrigiense 'Biokovo'</i>	4. kakost kantabrijský
- <i>Alchemilla mollis</i>	5. kontryhel měkký
- <i>Heuchera sanguinea</i>	6. dlužicha krvavá
- <i>Heuchera micrantha 'Palace Purple'</i>	7. dlužicha purpurová
- <i>Pachysandra terminalis</i>	8. tlustonitník klasnatý
- <i>Deschampsia caespitosa</i>	9. metlice trsnatá
- <i>Geranium macrorhizum</i>	10. kakost oddenkatý





### 5.3.2.1 Příprava skladby zelené fasády na kancelářském objektu KVOP



Obr. 5-46: Listopad 2018 - montáž PP desek na hliníkový rošt a přelepení spojů



Obr. 5-47: Listopad 2018 - Provedení první vrstvy geotextilie



Obr. 5-48: Prosinec 2018 - Uchycení růstového média a druhá vrstva geotextilie



Obr. 5-49: Prosinec 2018 – Předkreslení pozice pruhů rostlin pro vytvoření loga

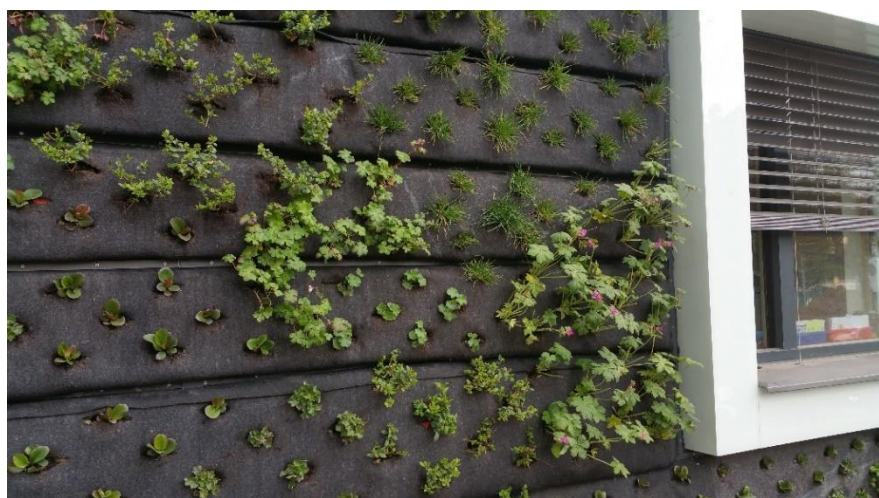




*Obr. 5-50: Březen 2019 – Fasáda připravená k osázení*



*Obr. 5-51: 15/5/2019 – Od konce dubna probíhalo osazování fasády rostlinami*



*Obr. 5-52: 15/5/2019 – Detail osázení severní fasády*



*Obr. 5-53: 15/5/2019 - Detail osázení severní fasády*



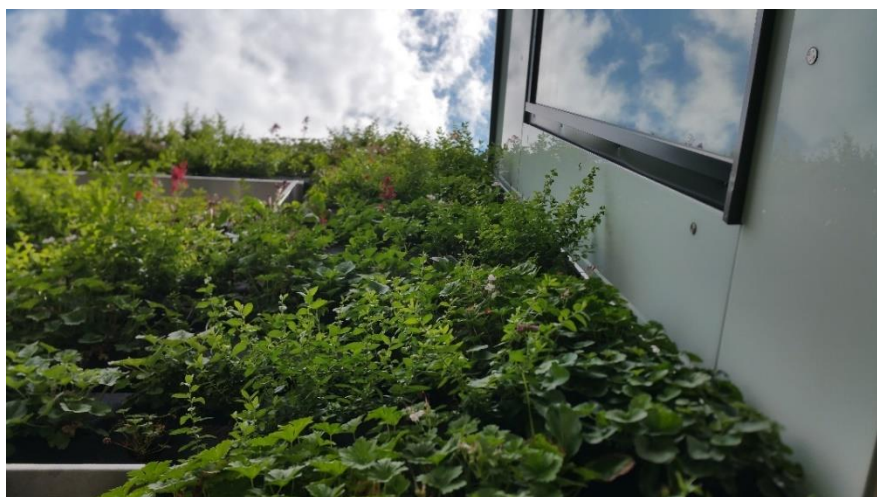
### 5.3.2.2 Sledování růstu vegetace zelené fasády



*Obr. 5-54: 27/5/2019 - Plně osázená fasáda*



*Obr. 5-55: 28/6/2019 – Zazeleněná fasáda*



*Obr. 5-56: 24/7/2019 – Detail vegetace západní fasády*



*Obr. 5-57: 26/8/2019 - Plně zazeleněná západní fasáda*





*Obr. 5-58: 10/9/2019. – Detail rohového okna*



*Obr. 5-59: 5/10/2019 – Zelená fasáda 4 měsíce po osázení*



*Obr. 5-60: Duben 2020 – severní fasáda*



*Obr. 5-61: Květen 2020 – rok po osázení*





*Obr. 5-62: Prosinec 2020 – bez závlahy*



*Obr. 5-63: Březen 2021 – bez závlahy*



*Obr. 5-64: Duben 2021 – vymrznutí spodní části zelené fasády*



*Obr. 5-65: Duben 2021 – příliné zakrácení rostlin při údržbě vedlo k jejich úhynu*





Obr. 5-66: Červen 2021 – zelená fasáda dva roky po osázení



Obr. 5-67: Červenec 2021- západní fasáda

Po výměně vymrzlých rostlin ve spodní části zelené fasády v dubnu 2021 byla již po dvou měsících západní fasáda plně ozeleněna.

Vitalita rostlin zelené fasády je plně závislá na integrované závlaze a dodávkách hnojiva do systému zavlažování. V zimě se závlaha vypíná. Zajištění vypnutí, vyfoukání, napuštění systému je součástí servisní smlouvy o provedení následné údržby zelené fasády a je řešeno manuálně podle předpokládané teploty okolní teploty. Vypínání a napouštění systému v závislosti na počasí řeší zahradnická firma provádějící údržbu. Pokud je průměrná teplota okolního vzduchu pod nulou, musí se systém vypustit. Dle průběhu teploty okolního vzduchu se může vypouštět i několikrát do roka. Při déle trvajících teplotách nad 5 °C se systém musí napustit.

Zdrojem vody pro závlahu zelené fasády je podzemní akumulční nádrž o objemu 22,5 m<sup>3</sup>. Zdrojem vody pro akumulční nádrž jsou veškeré navržené ploché střechy o celkové ploše 609 m<sup>2</sup>. Pro zavlažování je použit uzavřený zavlažovací systém, jehož



nespornou výhodou je znovuvyžití závlahové vody, která protéká zelenou fasádou a přebytečná voda se vrací zpět do akumulární nádrže. Pro tento systém je nutná filtrace dešťových a přebytečných vod a pravidelná kontrola kvality vody. Pro zajištění dostatečného množství vody je systém doplněn automatickým plnicím systémem, kterým je ve stanoveném časovém úseku akumulární nádrž doplňována vodou z vodovodního řádu. Voda je do oběhu rozváděna čerpadlem. Pro dávkování živin do závlahové vody je instalována regulace množství hnojiva v časovém režimu



Obr. 5-68: Uzavřený zavlažovací systém umístěný v suterénu KVOP [36]

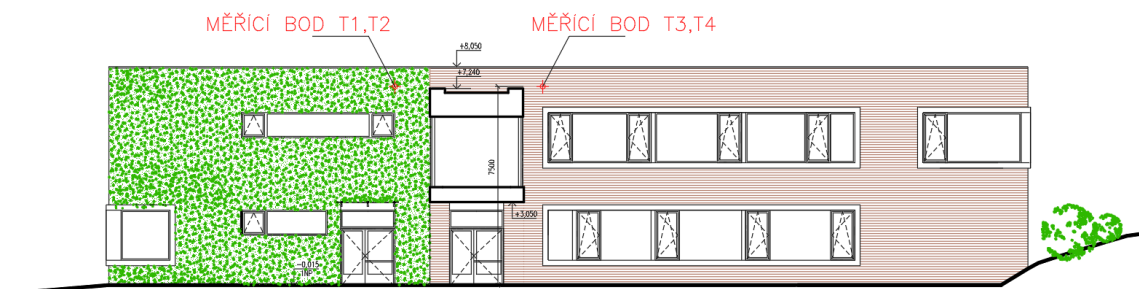


Obr. 5-69: Řídící jednotka závlahového systému zelené fasády KVOP [36]

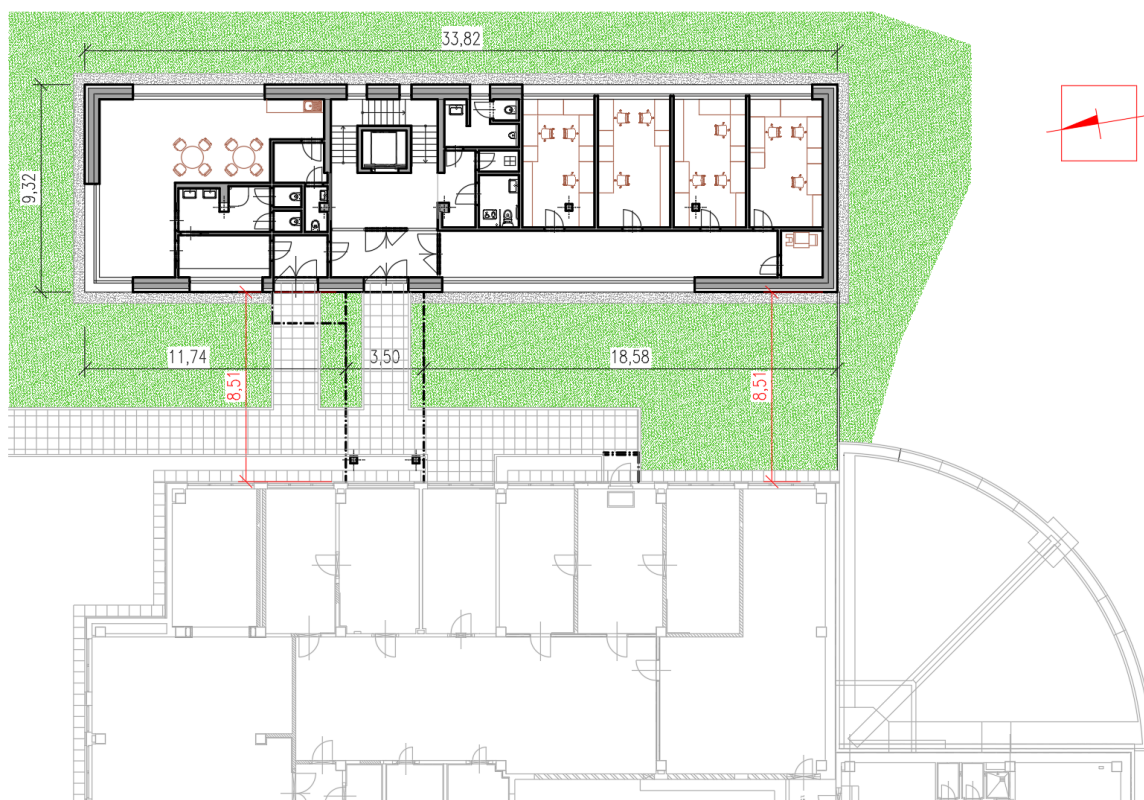
### 5.3.3 Měřící body a metodika měření

Měřící body byly vybrány tak, aby byla zjištěna teplota v různých místech profilu fasády. Zjištěné hodnoty teplot jak na zelené, tak u nezelené fasády měly potvrdit předpoklady, že zelená fasáda vytváří „izolační“ vrstvu, která má příznivý dopad na tepelnou stabilitu objektu. Bylo poměrně velkou neznámou, jaké hodnoty budou v jednotlivých ročních obdobích naměřeny. V rámci případného navazujícího výzkumu budou zjištěné hodnoty sloužit pro následný výpočet energetické bilance budovy. Měřené body T1 a T2 byly zvoleny pro měření teplot zelené fasády, kdy do bodu T1 bylo umístěno teplotní čidlo na lici zelené fasády a do bodu T2 bylo umístěno teplotní čidlo do vzduchové mezery za panelem zelené fasády. Pro porovnání hodnot s „nezelenou“ fasádou bylo teplotní čidlo v bodě T3 umístěno na lici dřevěného obkladu a druhé teplotní čidlo v bodě T4 do vzduchové mezery za tímto obkladem. Následná skladba obvodového pláště budovy je u obou fasád totožná, viz. obr. 5- 36.

Vlastní měření bylo prováděno na západní fasádě objektu přístavby kanceláří rok po jejím osázení vegetací. Pro měření byly použity 4 teplotní čidla a čtyřkanálový záznamník teplot (datalogger). Teplotní čidla byla použita pro měření teplot na líci fasád a ve vzduchové mezeře za fasádami, záznamník teplot byl umístěn na vegetační střeše objektu pro snadné připojení výpočetní techniky pro pravidelný odečet naměřených hodnot.



Obr. 5-70: Zakreslení polohy měřících bodů, zdroj: autor



Obr. 5-71: Půdorys 1.np objektu kanceláří a navazující zpevněné plochy a objekty

Poloha měřících bodů na horní části západní fasády byla zvolena z důvodu konfigurace okolní zástavby a umístění dalších konstrukcí a zpevněných ploch, které by mohly ovlivňovat pozice teplotních čidel např. zastíněním, sáláním tepla, .... Jedná se především o stávající objekt Kanceláře veřejného ochránce práv, jehož odstup od nové přístavby činí 8,5 m, výška stávajícího objektu na východní straně je totožná s výškou přístavby.



Tím, že se jedná o západní fasádu nedochází k žádnému zastínění fasády s dřevěným obkladem, pouze část zelené fasády je v průběhu dne zastíněna spojovacím krčkem mezi oběma budovami. V dopoledních hodinách je západní fasáda neosluněna, k oslunění dochází kolem 13 hod. Teplotní čidla jsou umístěna ve výšce cca 7,5 m nad upraveným terénem a 0,55 m pod atikou zelené střechy. Zpevněné plochy – chodníky v okolí západní fasády jsou provedeny z velkoformátové betonové dlažby, ostatní plochy tvoří travnatý povrch, který je extenzivní zelenou střechou nad suterénním prostorem garáží umístěných pod objektem přístavby kanceláří. Bezprostřední okolí obou zkoumaných fasád není ovlivňováno žádnou další vzrostlou zelení nebo technologickými zařízeními produkujícími teplo či chlad. Ze všech světových stran přiléhají k objektu zelené travnaté plochy.

Měřicí cyklus byl zahájen v květnu 2020 kontrolou funkčnosti měřicí techniky a vyrovnáním teploty snímačů a záznamníku. Záznamník a snímače teplot byly ponechán cca 15 min v teplotě odpovídající aktuálním teplotním podmínkám v exteriéru. Následně bylo zahájeno měření teplot na jednotlivých měřících bodech viz. tabulka. Záznamník zapisuje údaje v intervalu 5 min. Pro porovnání naměřených hodnot na fasádách objektu a okolní teploty byla u Českého hydrometeorologického ústavu vyžádána meteorologická data dané lokality naměřená v měřeném období. V rámci měřicího cyklu byly od ČHMÚ získány hodnoty okolní teploty a vlhkosti. Každé měření bylo zpracováno do přehledové tabulky všech měření v aplikaci MS Excel.

Tab. 5-5: Popis měřících bodů

Měřicí bod	Popis měření
T1	Měření teploty na líci zelené fasády
T2	Měření teploty ve vzduchové mezeře za panelem zelené fasády
T3	Měření teploty na líci dřevěného obkladu
T4	Měření teploty ve vzduchové mezeře skladby dřevěného obkladu
HMS	Data naměřená na hydrometeorologické stanici Brno-Žabovřesky

### 5.3.4 Použitá měřicí technika

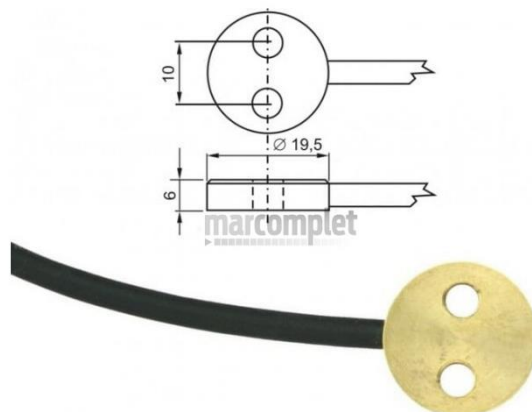
Pro monitorování teplot byly použity produkty pro měření teploty f.COMET SYSTEM, s.r.o., Rožnov pod Radhoštěm.



Obr. 5-72: U0141 záznamník teploty čtyřkanalový;  
4x vstup Pt1000

#### Technická data

- LOGGER U0141-ZÁZNAMNÍK TEPLoty ČTYŘKANÁLOVÝ + teplotní senzor - 4x externí čidlo Pt1000
- Měřicí rozsah -90 až +260 °C
- Přesnost  $\pm 0,2$  °C;  $\pm 0,2$  % z měřené hodnoty od +100 do +260 °C
- Rozlišení 0,1 °C
- Doba odezvy měření teploty  $t_{90}$  (teplotní skok 20 °C, proudění vzduchu cca 1 m/s) dle připojené sondy
- Rozsah provozní teploty přístroje -20 až +60 °C
- Kanály 1x externí čidlo teploty
- Celková kapacita paměti 500 000 hodnot (v necyklickém záznamu), 350 000 hodnot (v cyklickém záznamu)
- Interval záznamu nastavitelný od 1 sekundy do 24 hodin
- Napájení Lithiová baterie 3,6 V, velikost AA
- Krytí IP67
- Rozměry 61 x 93 x 32 mm
- Hmotnost včetně baterií cca 270 g



Obr. 5-73: COMET sonda teploty Pt1000TG7/E -  
5m, konektor ELKA

#### Technická data

- SNÍMAČ TEPLoty S KABELEM A KOVOVÝM POUZDREM
- Typ čidla Pt1000/3850 ppm / °C
- Třída přesnosti\*  $\pm (0,15 + 0,002 t)$  ve °C
- Zapojení čidla teploty dvou vodičové
- Měřicí rozsah -30 °C až 200 °C
- Napájení ze zdroje PELV nebo SELV
- Max. / Dop. měřicí proud 1 mA / 0,3 mA
- Krytí snímače IP 65 podle ČSN EN 60 529
- Doba odezvy  $t_{0,5} < 10$  s (na hladkém povrchu bez pasty)
- Materiál kovového pouzdra mosaz
- Průměr pouzdra  $19,5 \pm 0,1$  mm
- Výška pouzdra  $6 \pm 0,1$  mm
- Průměr montážních otvorů  $4,3 \pm 0,05$  mm
- Elektrická pevnost 500 VAC podle ČSN EN 60730-1
- Izolační odpor  $> 200$  M $\Omega$  při 500 VDC,  $25^\circ \pm 3$  °C
- Typ přívodního kabelu silikon stíněný 2 x 0,22 mm<sup>2</sup>
- Délky přívodního kabelu 1, 2, 5, 10 m
- Konektor ELKA
- Odpor přívodních vodičů 0,162 $\Omega$  / 1 m při teplotě 25 °C
- Hmotnost 0,05 kg/ 1 m

## 6 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

V období od 2. 5. 2020 do 12. 5. 2021 bylo provedeno v měřících bodech T1 až T4 celkem 400.732 měření. V každém bodě bylo tedy provedeno 100.183 měření. Data byla měřena v intervalu 5 minut. Měření byla prováděna dle výše uvedené metodiky měření.

### 6.1 Základní charakteristiky provedených měření

Statistický soubor obsahuje tedy celkově 400.732 měření, které jsou rozděleny do 4 samostatných měřících bodů. V každém bodě bylo tedy provedeno 100.183 měření.

Rozpětí celého statistického souboru, tedy délka variačního oboru je interval  $\langle -12,4; 70,1 \rangle$  °C.

Tento statistický soubor však není možné ani účelné vyhodnocovat. Proto byl rozdělen na statistické soubory čítající měření v jednotlivých měřících bodech a jejich následné vyhodnocení a porovnání.

Pro všechny měřící body byly pro **neroztříděný statistický soubor** vypočteny následující hodnoty:

**Aritmetický průměr** neroztříděného souboru se vypočte ze vztahu:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

**Medián** rozděluje statistický soubor na horní a dolní polovinu hodnot  $x_i$ . Jde o charakteristiku, která je oproti aritmetickému průměru málo citlivá na extrémně odchýlené hodnoty, jedná se o tzv. 50 % -ní kvantil.

Medián pro neroztříděný soubor a pro sudé  $n$  se vypočte ze vztahu:

$$\tilde{x} = \frac{1}{2} \left[ x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right] \quad (2)$$

Medián pro neroztříděný soubor a pro liché  $n$  se vypočte ze vztahu:

$$\tilde{x} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad (3)$$

Základními charakteristikami proměnlivosti statistického souboru jsou rozptyl a směrodatná odchylka.



**Rozptyl** se pro netříděný soubor vypočte ze vztahu:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \bar{x}^2 \quad (4)$$

**Směrodatná odchylka** se vypočte:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (5)$$

Statistický soubor lze rovněž roztrždit do tzv. tříd o počtu  $m$ , které mají obvykle stejnou délku  $h$ . Získáme tím pokrytí variačního oboru systémem disjunktních intervalů.

**Počet tříd** volíme pro symetrický statistický soubor přibližně

$$m = 1 + 3,3 \log n \quad (6)$$

V případě asymetrického statistického souboru platí:

$$m = \langle \sqrt{n}; 2\sqrt{n} \rangle \quad (7)$$

**Délka třídy** se vypočte:

$$h \approx \frac{x_{(n)} - x_{(1)}}{m} \quad (8)$$

### Třídění souboru

Ve většině šetření je počet různých hodnot sledovaného znaku  $x$  menší než počet jednotek  $n$  tohoto statistického souboru. Znamená to tedy, že několik různých statistických jednotek téhož souboru má stejné hodnoty. Hovoříme o tzv. četnosti nebo také absolutní četnosti.

**Absolutní četnost (četnost)** hodnoty znaku (ozn.  $n_j$ ) udává počet statistických jednotek, kterým přísluší stejná hodnota znaku  $x_j$ , tzn. že pomocí této absolutní četnosti lze roztrždit soubor do  $r$  tříd ( $r < n$ ). Součet četností všech možných hodnot znaku se rovná rozsahu souboru

$$\sum_{j=1}^r n_j = n \quad (9)$$

Relativní četnost hodnoty znaku ( $v_j = n_j/n$ ) udává, jaká část souboru má hodnotu znaku  $x_j^*$ . Součet relativních četností se rovná jedné

$$\sum_{j=1}^r v_j = 1 \quad (10)$$

Relativní četnosti se velmi často vyjadřují v procentech a pak platí, že jejich součet je 100 %.

## 6.2 Měřící bod T1 (zelená fasáda)

Měřící bod T1 charakterizuje teplotu na líci zelené fasády. Měření teploty bylo prováděno dle výše uvedené metodiky ve výšce cca 7,5 m nad upraveným terénem.

### 6.2.1 Neroztříděný statistický soubor pro měřící bod T1

Rozpětí statistického souboru pro měřící bod T1 je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -12,4; 51,5 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr neroztříděného souboru je  $\bar{x} = 10,88$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit neroztříděného souboru je  $\tilde{x} = 9,60$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 99,15$ .

Směrodatná odchylka  $s = 9,96$ .

### 6.2.2 Roztříděný statistický soubor pro měřící bod T1

Statistický soubor lze rovněž rozřídít do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T1 pak lze uvažovat:

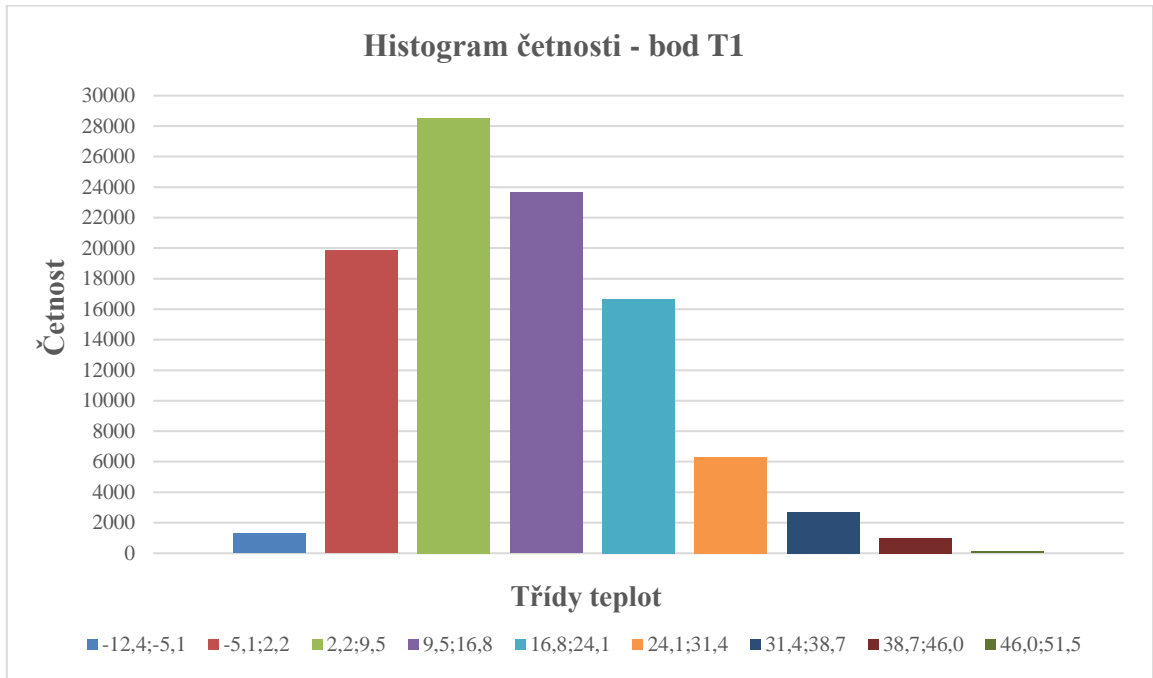
Vypočítané  $m = 17,5$  a  $h \approx 3,65$

Volím  $m = 9$  a  $h \approx 7,3$

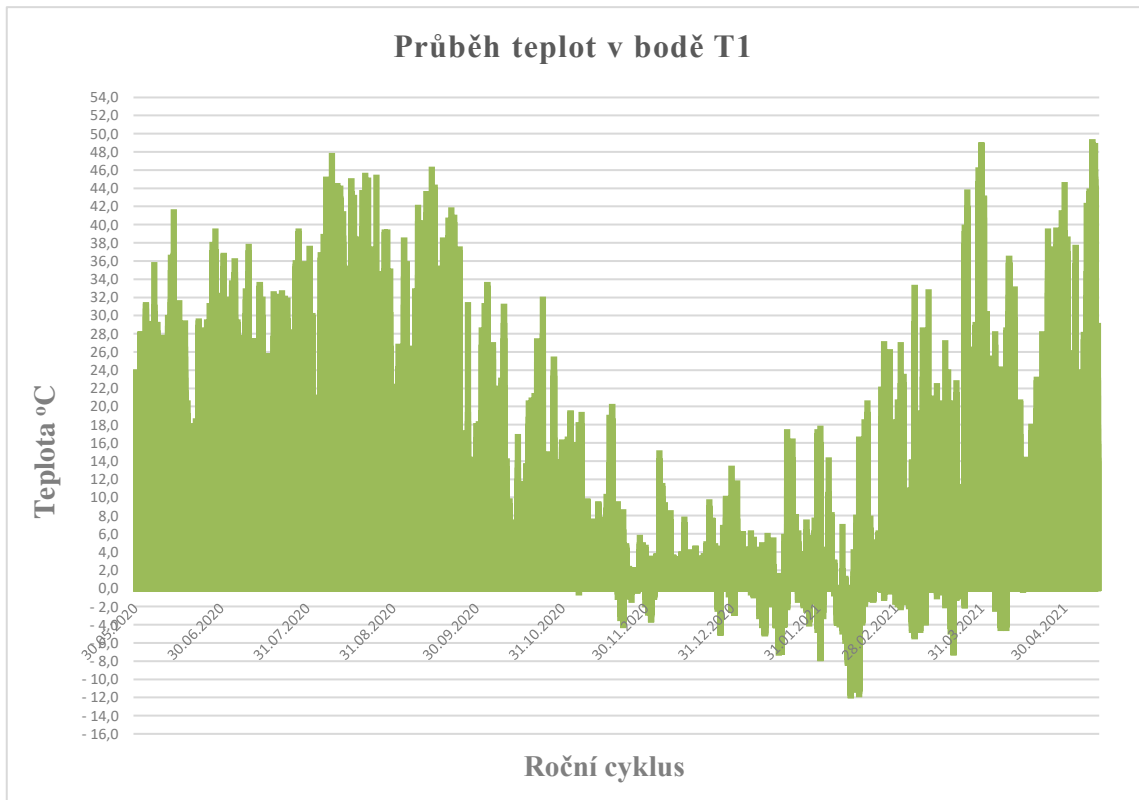
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřící bod T1

Třída $x^*_j$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x^*_1$	-12,4; -5,1	1312	0,013 = 1,3 %
$x^*_2$	-5,1; 2,2	19848	0,198 = 19,8 %
$x^*_3$	2,2; 9,5	28549	0,285 = 28,5 %
$x^*_4$	9,5; 16,8	23664	0,236 = 23,6 %
$x^*_5$	16,8; 24,1	16676	0,167 = 16,7 %
$x^*_6$	24,1; 31,4	6315	0,063 = 6,3 %
$x^*_7$	31,4; 38,7	2701	0,027 = 2,7 %
$x^*_8$	38,7; 46,0	996	0,010 = 1,0 %
$x^*_9$	46,0; 51,5	117	0,0012 = 0,1 %

Nejčastěji naměřené teploty na líci zelené fasády se pohybovaly v rozmezí teplot 2,2 – 9,5 °C. Z histogramu lze vyčíst, že pokles teploty v měřícím bodě T1 pod -5,1 °C byl minimální, stejně tak výskyt teplot nad 31,4 °C.



Graf 6-1: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T1 v průběhu ročního cyklu



Graf 6-2: Průběh teploty v měřícím bodě T1 po celou dobu měření



## 6.2.3 Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro bod T1

### 6.2.3.1 Zimní období (12/2020-2/2021)

Rozpětí roztržiděného statistického souboru pro měřicí bod T1 v zimním období je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -12,4; 27,2 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr roztržiděného souboru je  $\bar{x} = 1,40$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit roztržiděného souboru je  $\tilde{x} = 1,40$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 20,60$ .

Směrodatná odchylka  $s = 4,54$ .

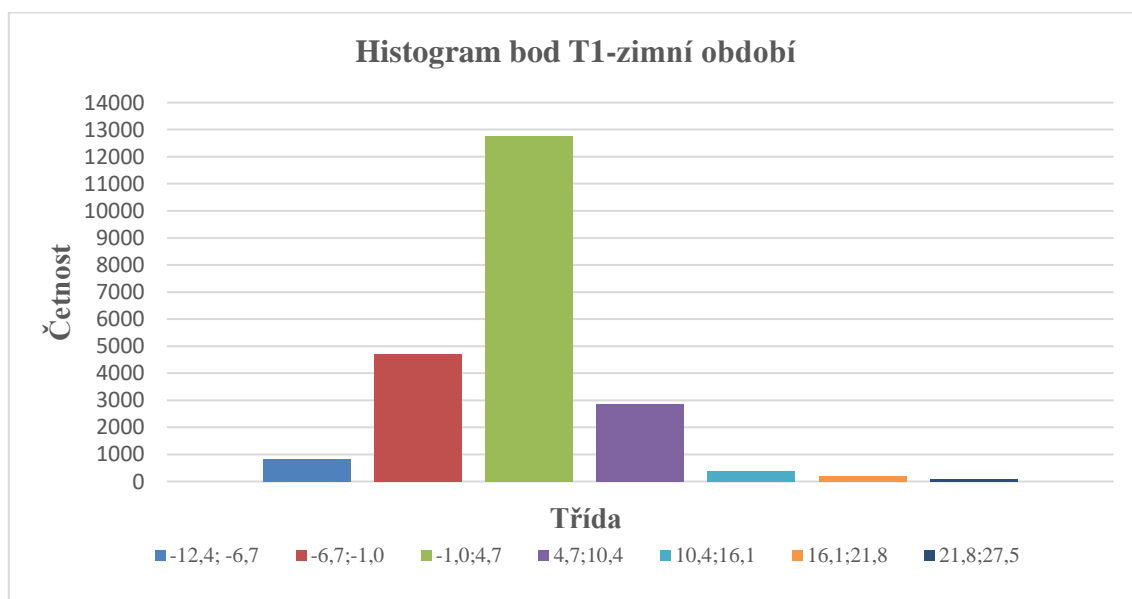
Statistický soubor lze rovněž roztržidit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T1 v zimním období pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 15,3$  a  $h \approx 2,59$

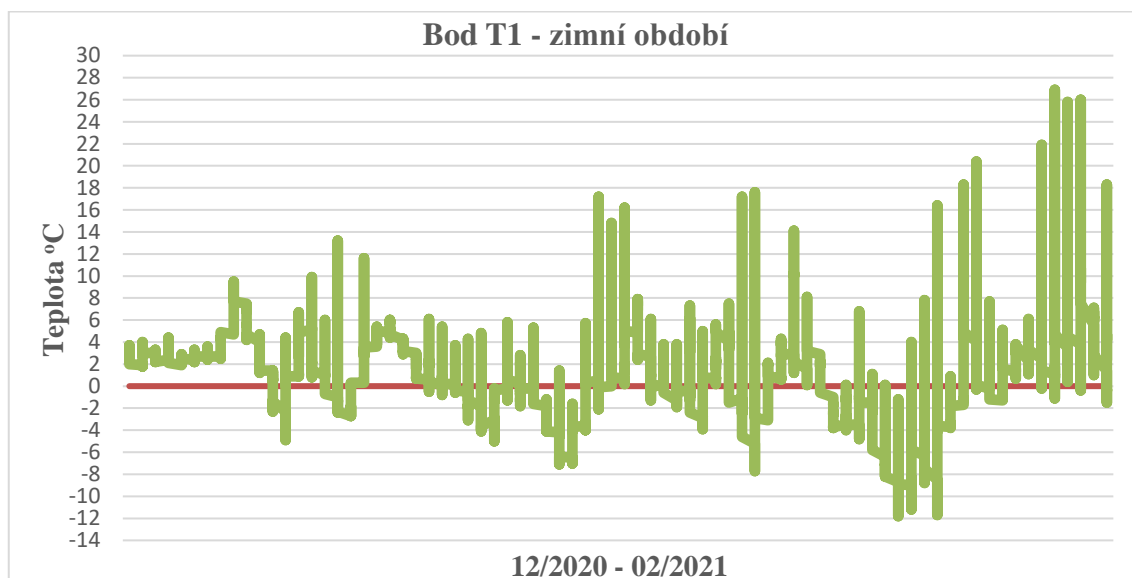
Volím  $m = 7$  a  $h \approx 5,7$

Tab. 6-2: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod T1 v zimním období

Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	-12,4; -6,7	850	0,039 = 3,9 %
$x_2^*$	-6,7; -1,0	4723	0,216 = 21,6 %
$x_3^*$	-1,0; 4,7	12772	0,285 = 28,5 %
$x_4^*$	4,7; 10,4	2879	0,584 = 58,4 %
$x_5^*$	10,4; 16,1	366	0,017 = 1,7 %
$x_6^*$	16,1; 21,8	211	0,009 = 0,9 %
$x_7^*$	21,8; 27,5	87	0,004 = 0,4 %



Graf 6-3: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T1 v zimním období



Graf 6-4: Průběh teploty v měřicím bodě T1 v zimním období

### 6.2.3.2 Letní období (06/2020 – 08/2020)

Rozpětí rozříděného statistického souboru pro měřící bod T1 v letním období je délkou variačního oboru intervalu  $\langle 8,4; 47,8 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr rozříděného souboru je  $\bar{x} = 20,70$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantil rozříděného souboru je  $\tilde{x} = 18,90$  °C..

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 42,36$ .

Směrodatná odchylka  $s = 6,51$ .

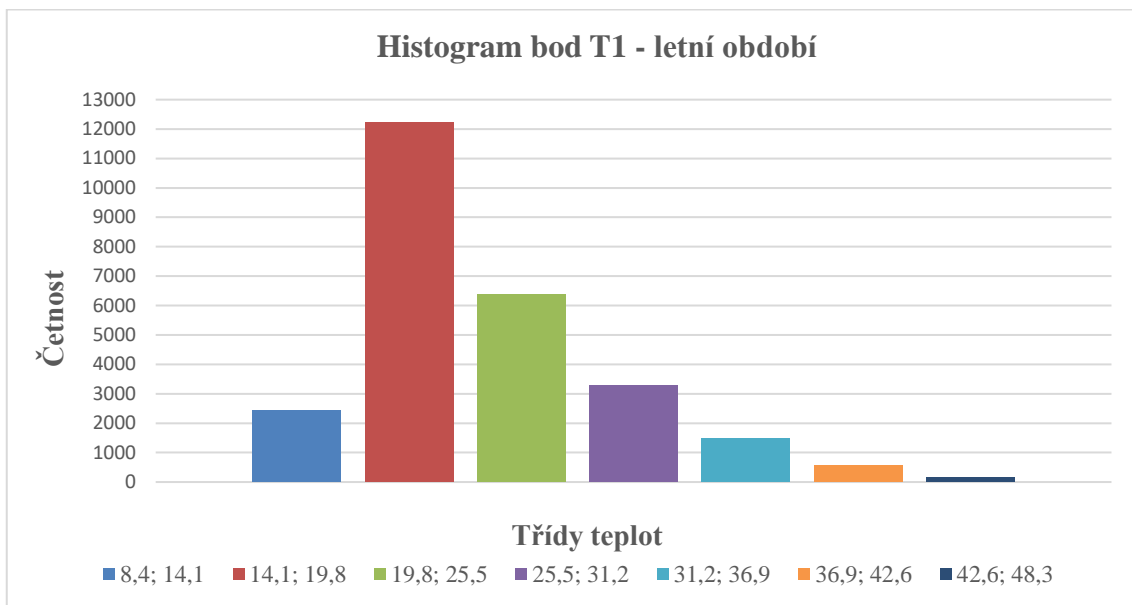
Statistický soubor lze rovněž rozřídít do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T1 v letním období pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 15,6$  a  $h \approx 2,53$

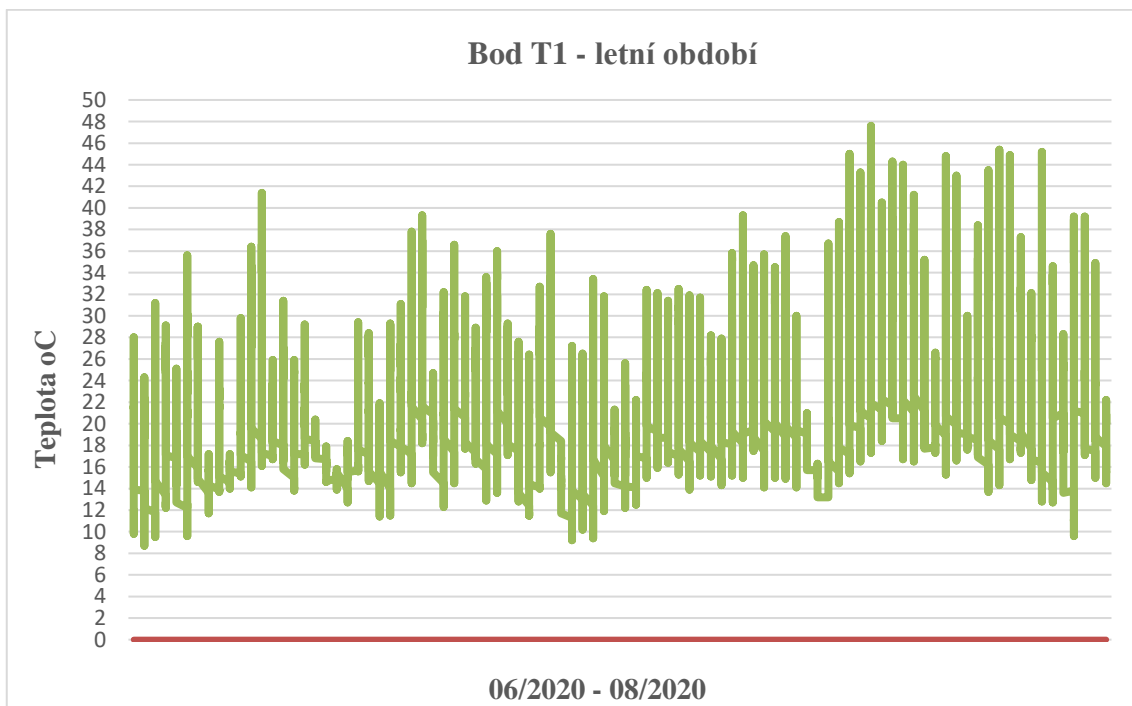
Volím  $m = 7$  a  $h \approx 5,7$

Tab. 6-3: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřící bod T1 v letním období

Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	8,4; 14,1	2434	0,092 = 9,2 %
$x_2^*$	14,1; 19,8	12220	0,461 = 46,1 %
$x_3^*$	19,8; 25,5	6368	0,240 = 24,0 %
$x_4^*$	25,5; 31,2	3279	0,124 = 12,4 %
$x_5^*$	31,2; 36,9	1480	0,056 = 5,6 %
$x_6^*$	36,9; 42,6	574	0,022 = 2,2 %
$x_7^*$	42,6; 48,3	141	0,005 = 0,5 %



Graf 6-5: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T1 v letním období



Graf 6-6: Průběh teploty v měřicím bodě T1 v letním období



### 6.3 Měřící bod T2 (zelená fasáda)

Měřící bod T2 charakterizuje teplotu ve větrané vzduchové mezeře skladby zelené fasády. Měření teploty bylo prováděno dle výše uvedené metodiky ve výšce cca 7,5 m nad upraveným terénem.

#### 6.3.1 Neroztříděný statistický soubor pro měřící bod T2

Rozpětí statistického souboru pro měřící bod T2 je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -8,0; 38,5 \rangle$  °C

Aritmetický průměr neroztříděného souboru je  $\bar{x} = 11,73$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantil neroztříděného souboru je  $\tilde{x} = 10,50$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 73,57$ .

Směrodatná odchylka  $s = 8,58$ .

#### 6.3.2 Roztříděný statistický soubor pro měřící bod T2

Statistický soubor lze rovněž roztrždit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T1 pak lze uvažovat:

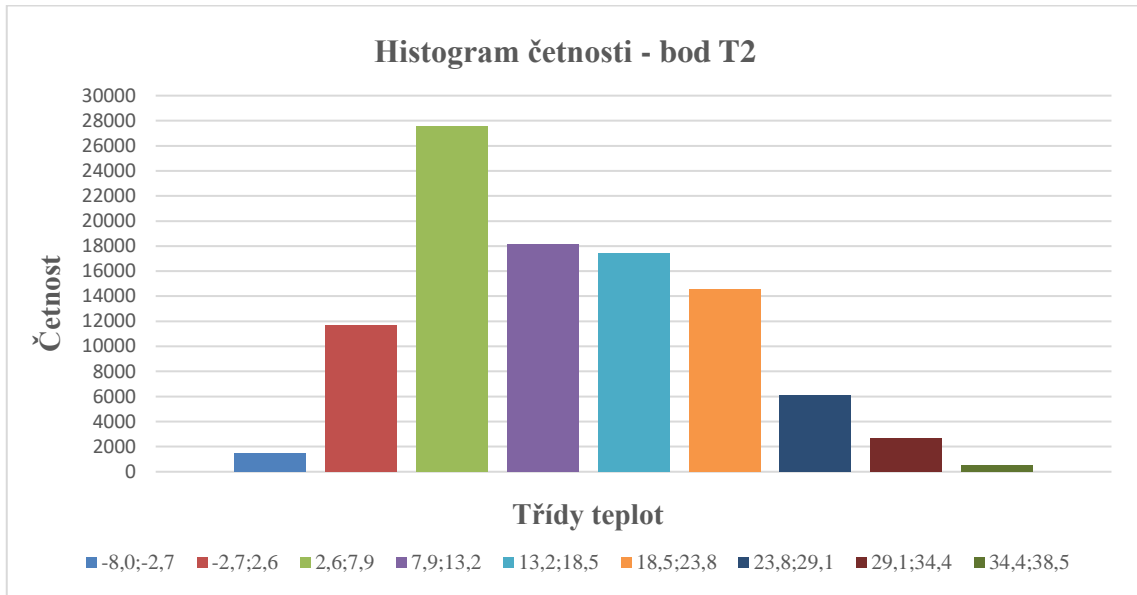
Vypočítané  $m = 17,5$  a  $h \approx 2,65$

Volím  $m = 9$  a  $h \approx 5,3$

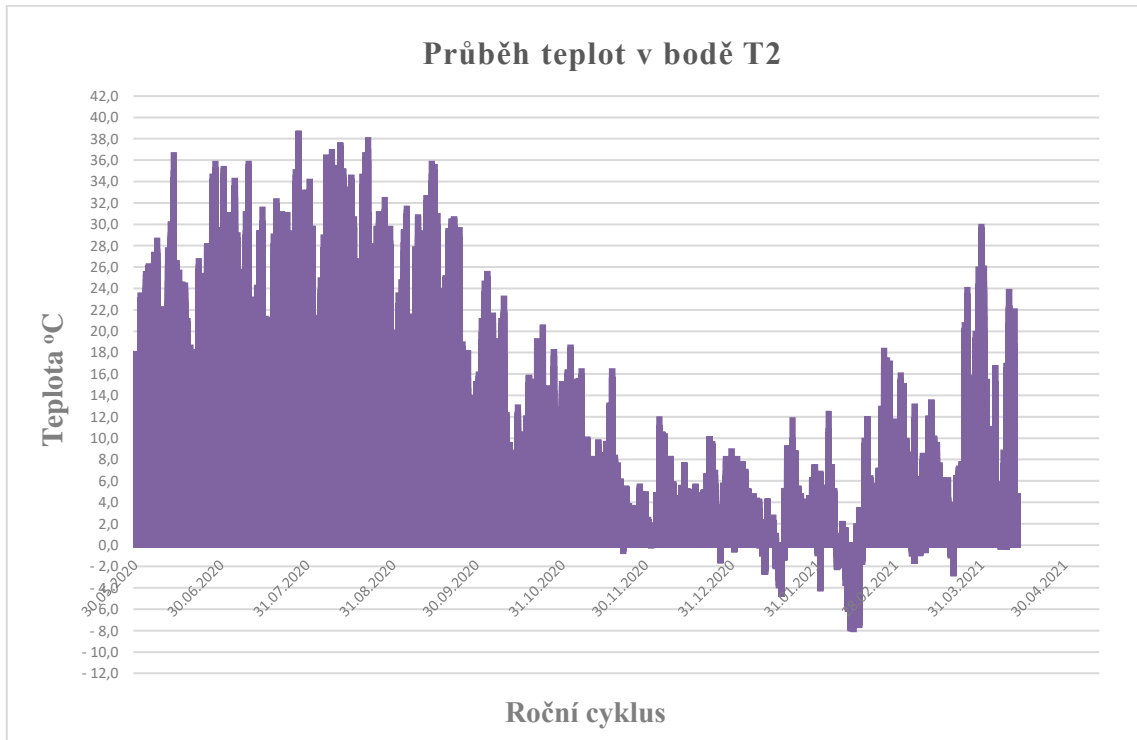
Tab. 6-4: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřící bod T2

Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	-8,0; -2,7	1440	0,014 = 1,4 %
$x_2^*$	-2,7; 2,6	11705	0,117 = 11,7 %
$x_3^*$	2,6; 7,9	27549	0,274 = 27,4 %
$x_4^*$	7,9; 13,2	18155	0,181 = 18,1 %
$x_5^*$	13,2; 18,5	17458	0,175 = 17,5 %
$x_6^*$	18,5; 23,8	14543	0,145 = 14,5 %
$x_7^*$	23,8; 29,1	6110	0,061 = 6,1 %
$x_8^*$	29,1; 34,4	2663	0,027 = 2,7 %
$x_9^*$	34,4; 38,5	560	0,006 = 0,6 %

Nejčastěji naměřené teploty ve vzduchové mezeře skladby zelené stěny se pohybovaly v rozmezí teplot 2,6 – 7,9 °C. Z histogramu lze vyčíst že pokles teploty pod 2,6 °C byl minimální, stejně tak výskyt teplot nad 23,8 °C.



Graf 6-7: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T2 v průběhu ročního cyklu



Graf 6-8: Průběh teploty v měřícím bodě T2 po celou dobu měření

### 6.3.3 Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro bod T2

#### 6.3.3.1 Zimní období

Rozpětí roztríděného statistického souboru pro měřicí bod T2 v zimním období je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -8,1; 18,2 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr roztríděného souboru je  $\bar{x} = 3,11$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit roztríděného souboru je  $\tilde{x} = 3,50$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 13,43$ .

Směrodatná odchylka  $s = 3,67$ .

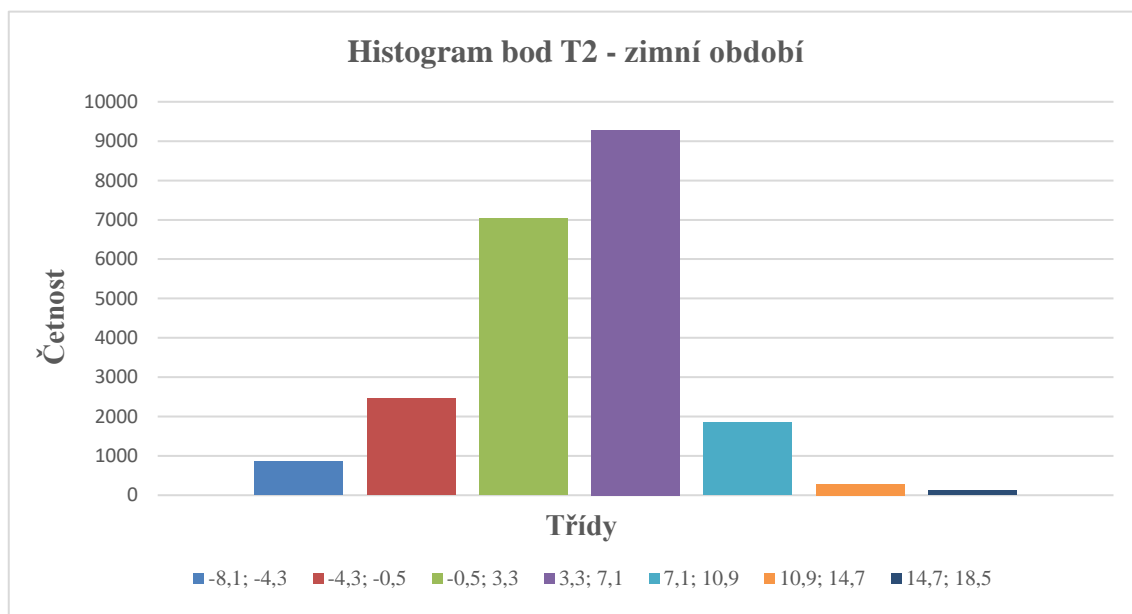
Statistický soubor lze rovněž roztrdit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T2 v zimním období pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 15,3$  a  $h \approx 1,72$

Volím  $m = 7$  a  $h \approx 3,8$

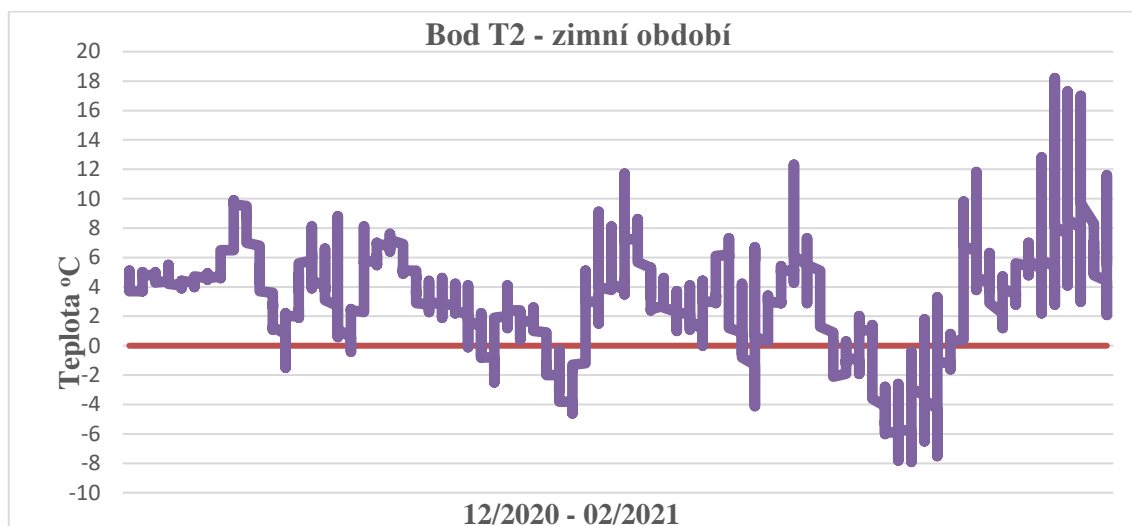
Tab. 6-5: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod T2 v zimním období

Třída $x^*_j$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x^*_1$	-8,1; -4,3	852	0,039 = 3,9 %
$x^*_2$	-4,3; -0,5	2466	0,113 = 11,3 %
$x^*_3$	-0,5; 3,3	7026	0,321 = 32,1 %
$x^*_4$	3,3; 7,1	9283	0,424 = 42,4 %
$x^*_5$	7,1; 10,9	1853	0,085 = 8,5 %
$x^*_6$	10,9; 14,7	283	0,013 = 1,3 %
$x^*_7$	14,7; 18,5	125	0,006 = 0,6 %



Graf 6-9: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T2 v zimním období:





Graf 6-10: Průběh teploty v měřicím bodě T2 v zimním období

### 6.3.3.2 Letní období

Rozpětí roztríděného statistického souboru pro měřící bod T2 v letním období je délkou variačního oboru intervalu  $\langle 11,5; 39,3 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr roztríděného souboru je  $\bar{x} = 21,52$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantil roztríděného souboru je  $\tilde{x} = 20,40$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 25,80$ .

Směrodatná odchylka  $s = 5,08$ .

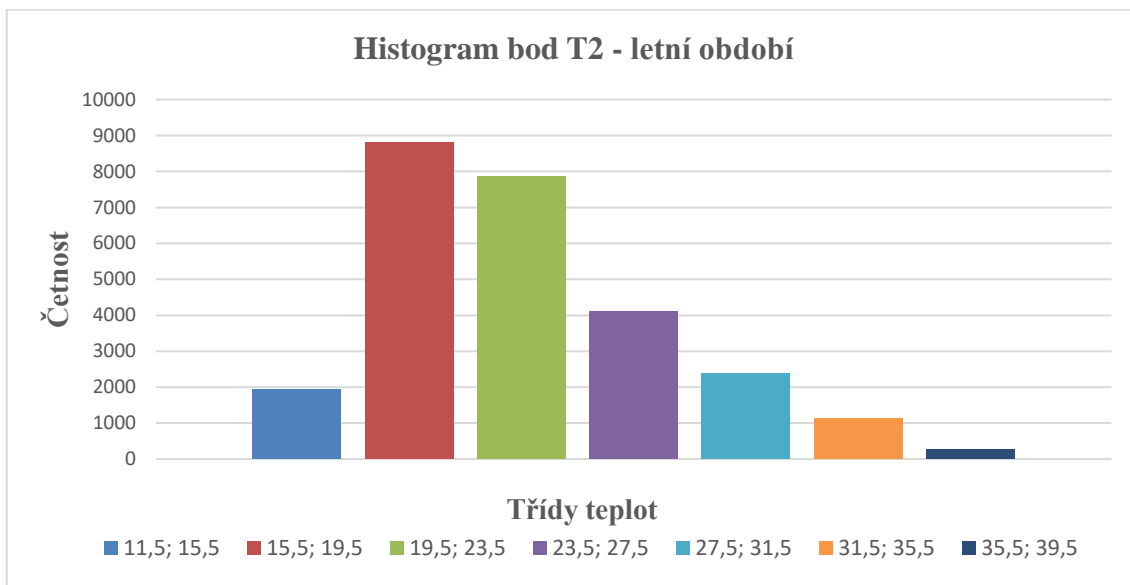
Statistický soubor lze rovněž roztrdit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T2 v letním období pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 15,3$  a  $h \approx 1,82$

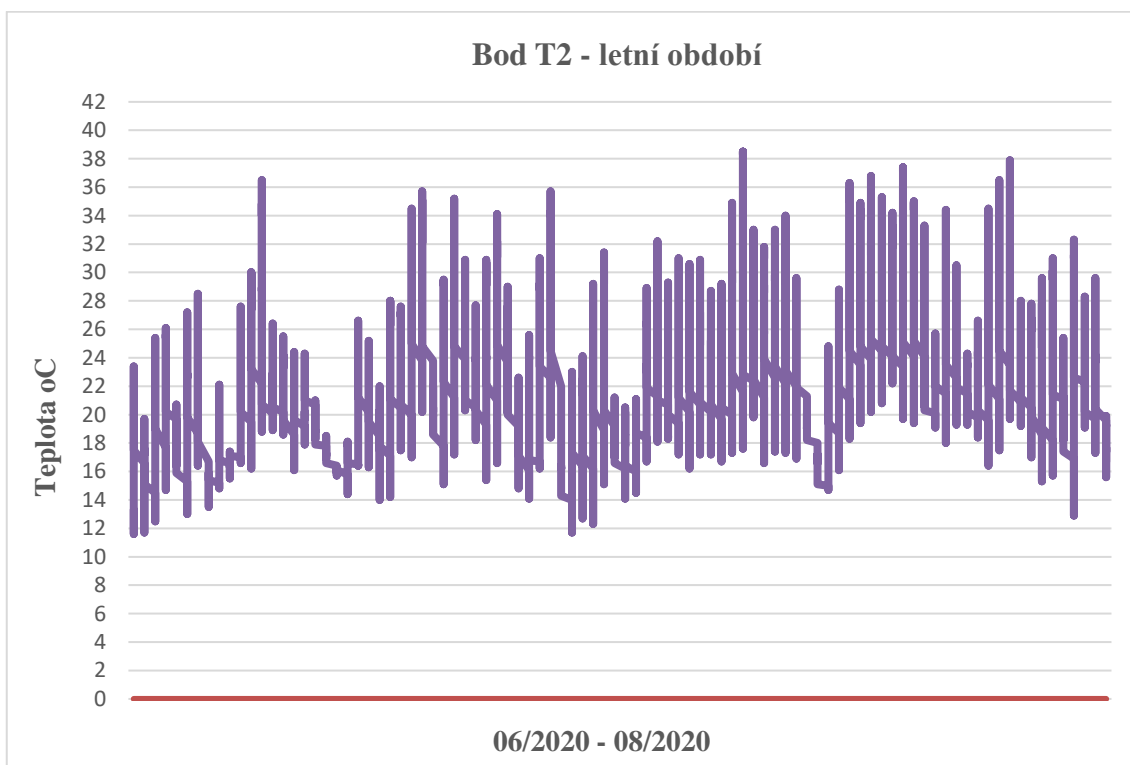
Volím  $m = 7$  a  $h \approx 4,0$

Tab. 6-6: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřící bod T2 v letním období

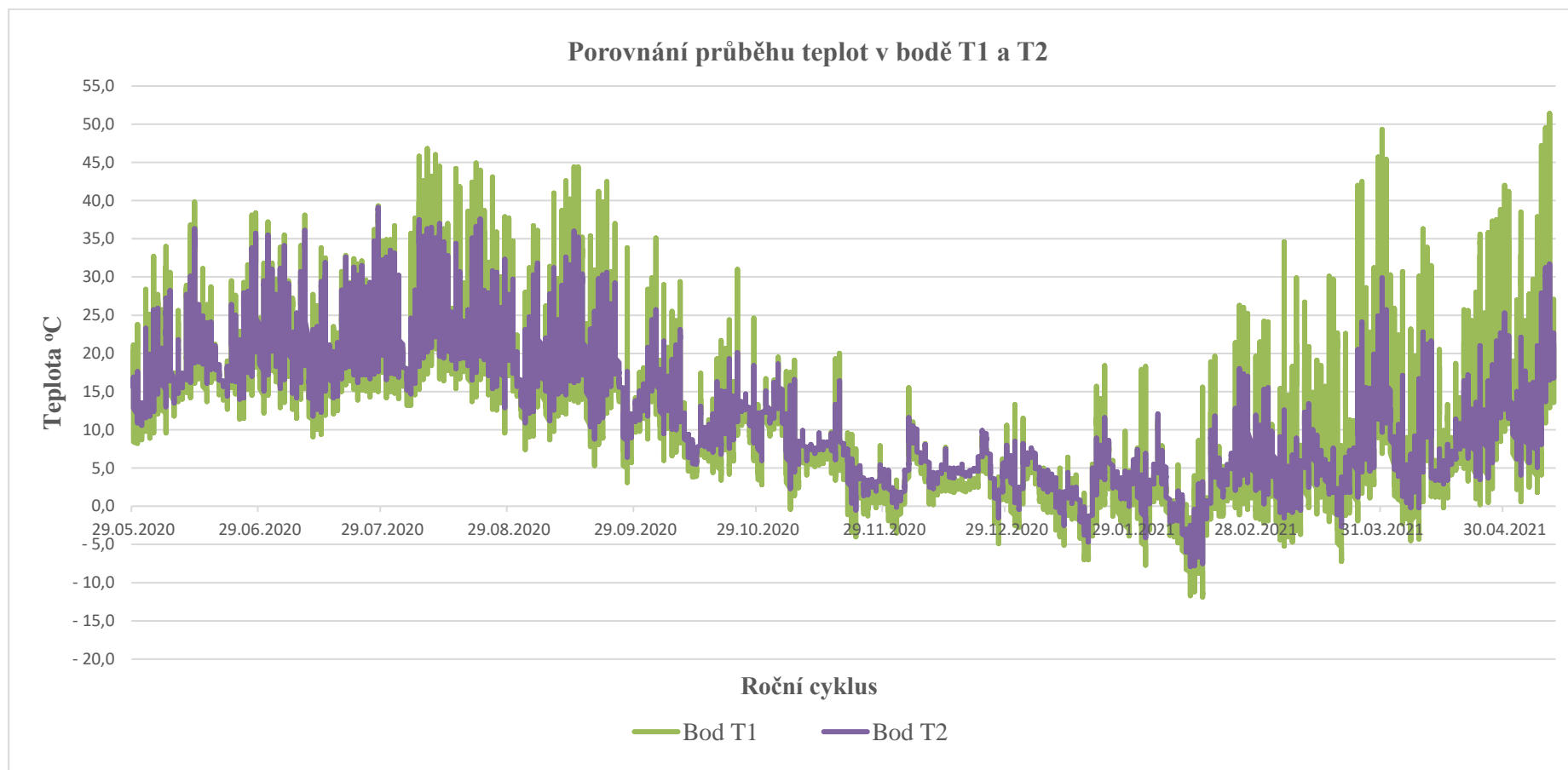
Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	11,5; 15,5	1926	0,073 = 7,3 %
$x_2^*$	15,5; 19,5	8810	0,333 = 33,3 %
$x_3^*$	19,5; 23,5	7873	0,297 = 29,7 %
$x_4^*$	23,5; 27,5	4104	0,155 = 15,5 %
$x_5^*$	27,5; 31,5	2392	0,090 = 9,0 %
$x_6^*$	31,5; 35,5	1130	0,043 = 0,9 %
$x_7^*$	35,5; 39,5	261	0,009 = 0,9 %



Graf 6-11: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T2 v letním období



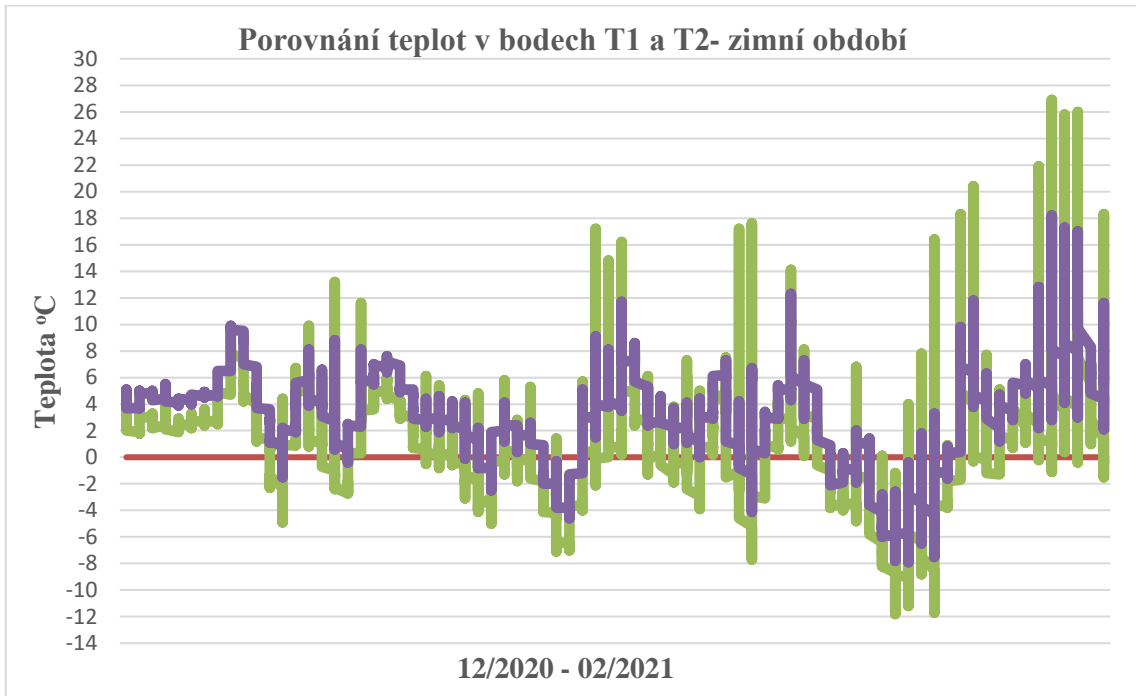
Graf 6-12: Průběh teploty v měřícím bodě T2 v letním období



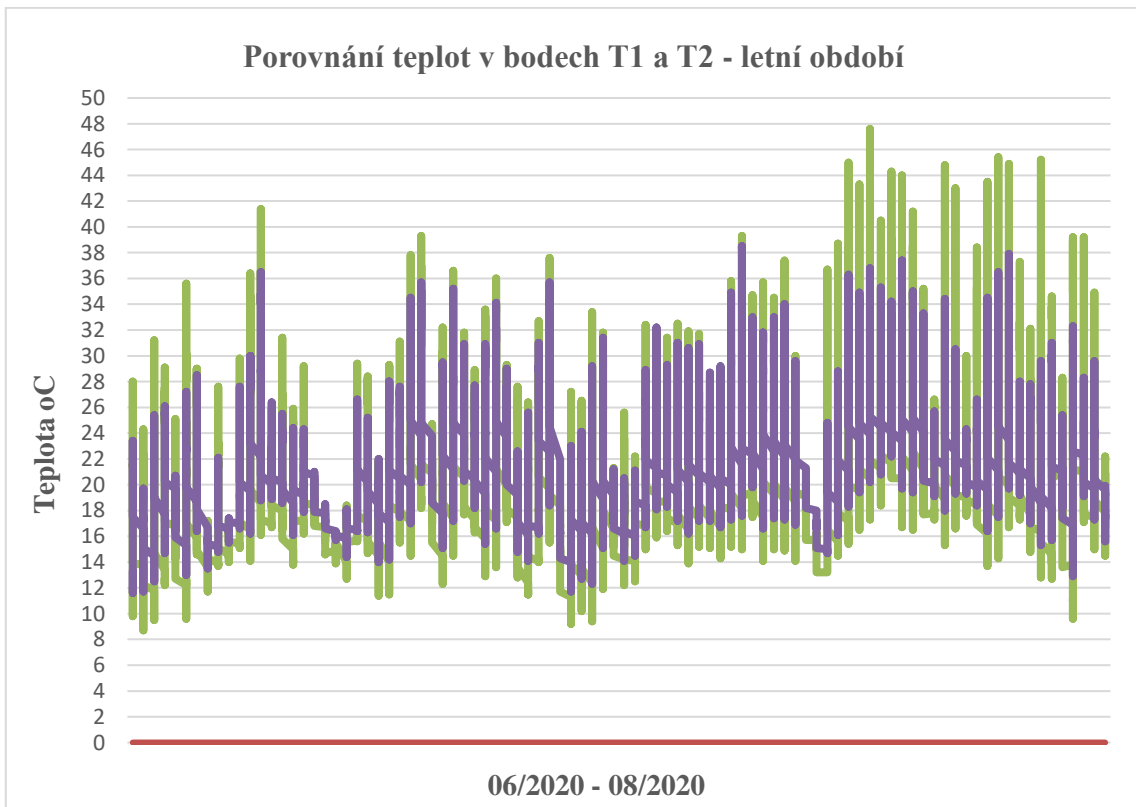
Graf 6-13: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T1 a T2 v průběhu celého měření

Porovnáním průběhů teplot v měřicím bodě T1 a T2 lze konstatovat, že vzduchová mezera ve skladbě zelené stěny si udržuje menší rozptyl teplot oproti lící zelené fasády. Rozdíly jsou patrné hlavně v zimních a jarních měsících roku, kdy byl zaznamenán velký rozdíl denních a nočních teplot.





Graf 6-14: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T1 a T2 v zimním období



Graf 6-15: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T1 a T2 v letním období

## 6.4 Měřicí bod T3 (dřevěný obklad)

Měřicí bod T3 charakterizuje teplotu na líci dřevěného obkladu fasády. Měření teploty bylo prováděno dle výše uvedené metodiky ve výšce cca 7,5 m nad upraveným terénem.

### 6.4.1 Neroztříděný statistický soubor pro měřicí bod T3

Rozpětí statistického souboru pro měřicí bod T3 je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -11,2; 70,1 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr neroztříděného souboru je  $\bar{x} = 12,67$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit neroztříděného souboru je  $\tilde{x} = 6,30$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 173,12$ .

Směrodatná odchylka  $s = 13,16$

### 6.4.2 Roztříděný statistický soubor pro měřicí bod T3

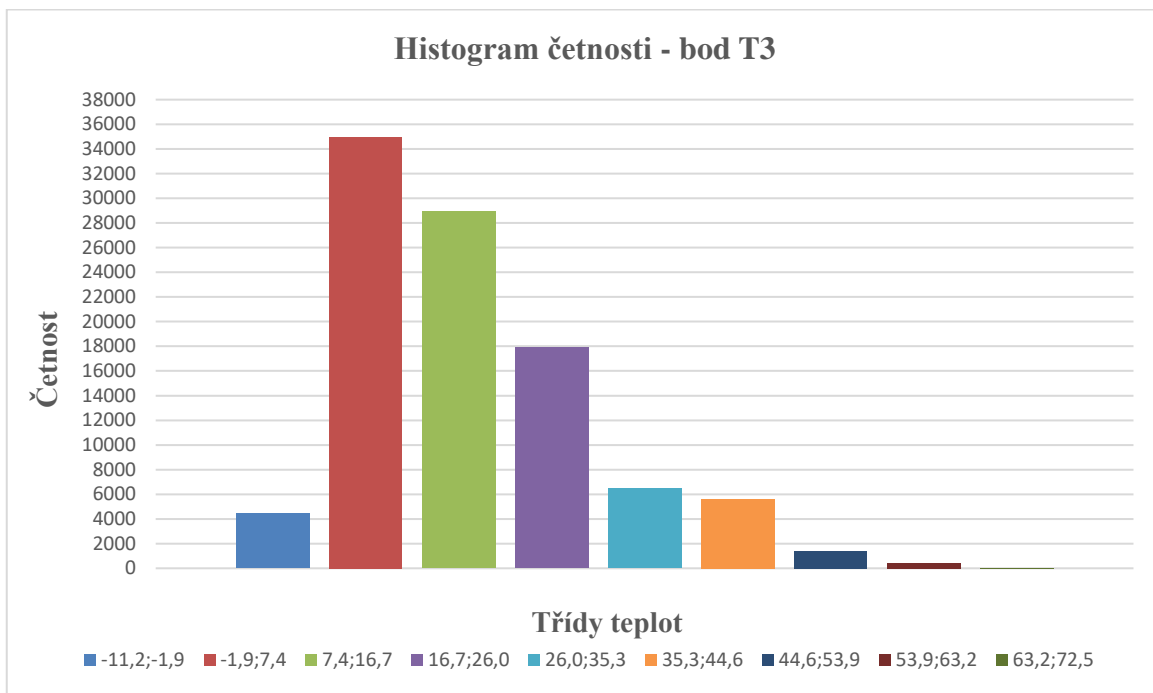
Statistický soubor lze rovněž rozřídít do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T3 pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 17,5$  a  $h \approx 4,65$

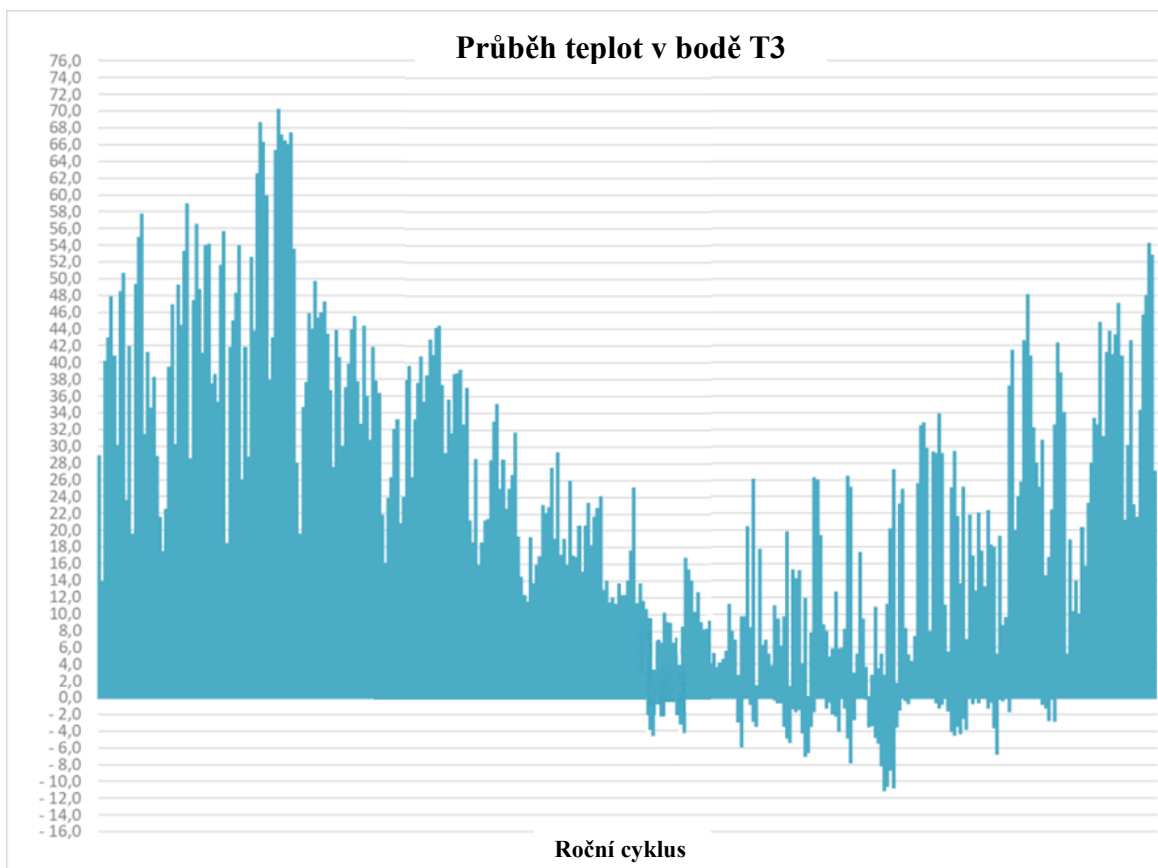
Volím  $m = 9$  a  $h \approx 9,3$

Tab. 6-7: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod T3

Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	-11,2; -1,9	4438	0,044 = 4,4 %
$x_2^*$	-1,9; 7,4	34984	0,350 = 35,0 %
$x_3^*$	7,4; 16,7	28943	0,289 = 28,9 %
$x_4^*$	16,7; 26,0	17920	0,179 = 17,9 %
$x_5^*$	26,0; 35,3	6454	0,064 = 6,4 %
$x_6^*$	35,3; 44,6	5624	0,056 = 5,6 %
$x_7^*$	44,6; 53,9	1396	0,014 = 1,4 %
$x_8^*$	53,9; 63,2	423	0,004 = 0,4 %
$x_9^*$	63,2; 72,5	1	0,00001 = 0,0 %



Graf 6-16: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T3 v průběhu ročního cyklu



Graf 6-17: Průběh teploty v měřícím bodě T3 po celou dobu měření



### 6.4.3 Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro bod T3

#### 6.4.3.1 Zimní období

Rozpětí roztríděného statistického souboru pro měřicí bod T3 je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -11,2; 34,5 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr roztríděného souboru je  $\bar{x} = 2,21$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit roztríděného souboru je  $\tilde{x} = 2,1$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 27,23$ .

Směrodatná odchylka  $s = 5,22$ .

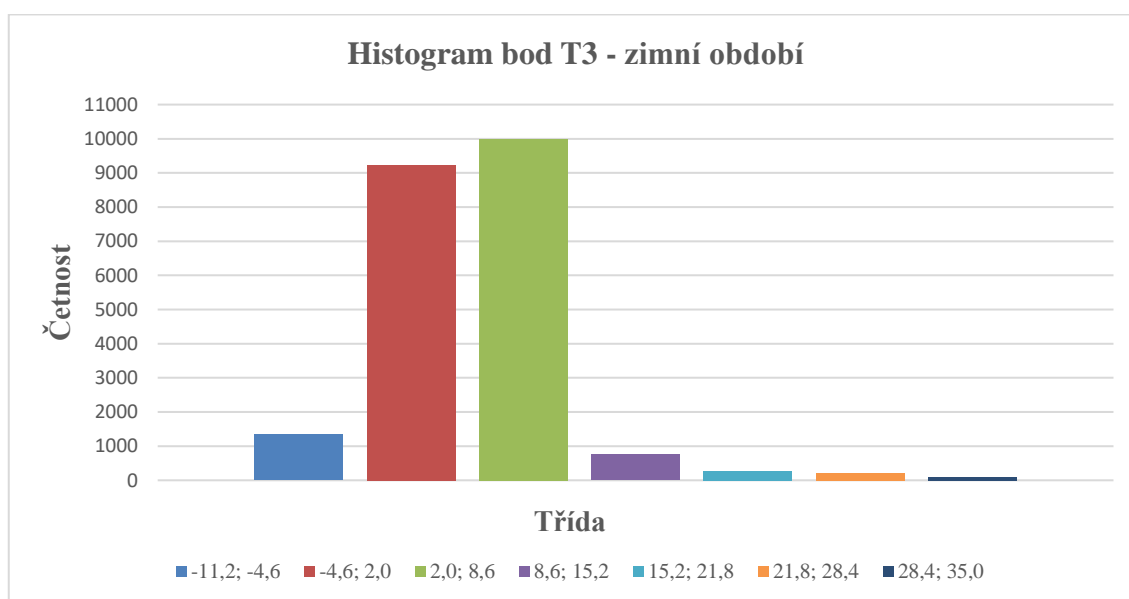
Statistický soubor lze rovněž roztrdit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T3 v zimním období pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 15,3$  a  $h \approx 2,99$

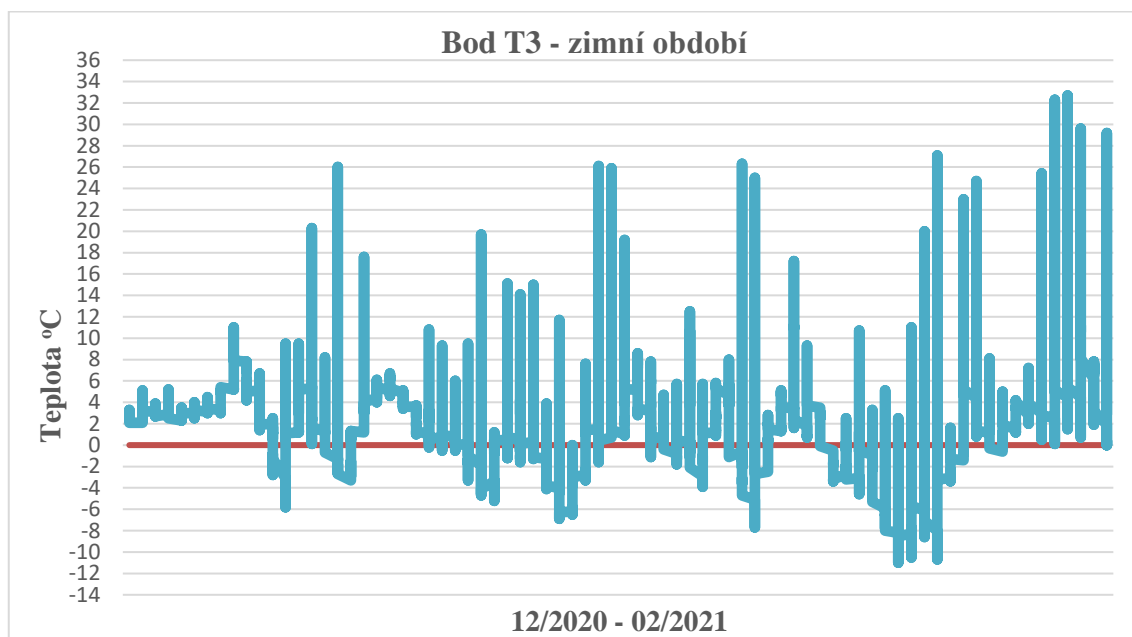
Volím  $m = 7$  a  $h \approx 6,6$

Tab. 6-8: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod T3 v zimním období

Třída $x^*_j$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x^*_1$	-11,2; -4,6	1349	0,062 = 6,2 %
$x^*_2$	-4,6; 2,0	9228	0,422 = 42,2 %
$x^*_3$	2,0; 8,6	9983	0,456 = 45,6 %
$x^*_4$	8,6; 15,2	753	0,034 = 3,4 %
$x^*_5$	15,2; 21,8	262	0,012 = 1,2 %
$x^*_6$	21,8; 28,4	220	0,010 = 1,0 %
$x^*_7$	28,4; 35,0	93	0,004 = 0,4 %



Graf 6-18: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T3 v zimním období:



Graf 6-19: Průběh teploty v měřicím bodě T3 v zimním období

#### 6.4.3.2 Letní období

Rozpětí roztržiděného statistického souboru pro měřicí bod T3 v letním období je délkou variačního oboru intervalu  $\langle 8,3; 71,2 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr roztržiděného souboru je  $\bar{x} = 23,22$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit roztržiděného souboru je  $\tilde{x} = 19,70$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 110,1$ .

Směrodatná odchylka  $s = 10,49$ .

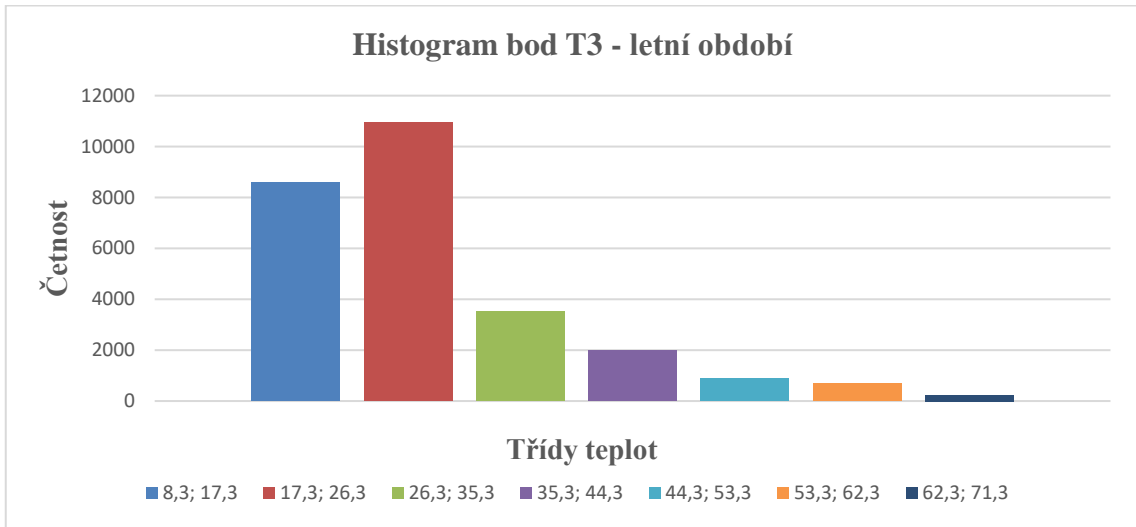
Statistický soubor lze rovněž roztržidit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T3 v letním období pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 15,3$  a  $h \approx 4,11$

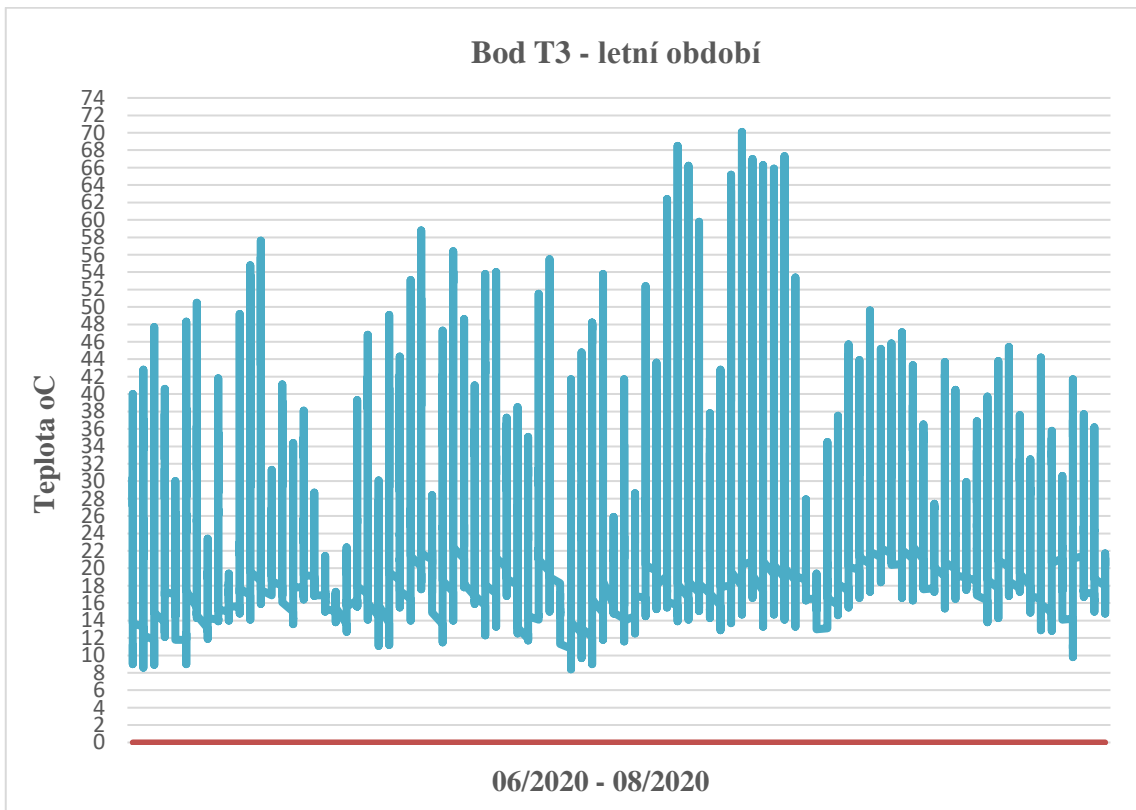
Volím  $m = 7$  a  $h \approx 9,0$

Tab. 6-9: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod T1

Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	8,3; 17,3	8578	0,3249 = 32,4 %
$x_2^*$	17,3; 26,3	10946	0,413 = 41,3 %
$x_3^*$	26,3; 35,3	3505	0,132 = 28,5 %
$x_4^*$	35,3; 44,3	1975	0,075 = 7,5 %
$x_5^*$	44,3; 53,3	878	0,033 = 3,3 %
$x_6^*$	53,3; 62,3	683	0,026 = 2,6 %
$x_7^*$	62,3; 71,3	234	0,009 = 0,9 %



Graf 6-20: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T3 v letním období



Graf 6-21: Průběh teploty v měřícím bodě T3 v letním období



## 6.5 Měřicí bod T4 (dřevěný obklad)

Měřicí bod T4 charakterizuje teplotu ve větrané mezeře skladby zelené fasády. Měření teploty bylo prováděno dle výše uvedené metodiky ve výšce cca 7,5 m nad upraveným terénem.

### 6.5.1 Neroztříděný statistický soubor pro měřicí bod T4

Rozpětí statistického souboru pro měřicí bod T4 je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -9,6; 43,6 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr neroztříděného souboru je  $\bar{x} = 11,58$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit neroztříděného souboru je  $\tilde{x} = 10,1$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 89,43$ .

Směrodatná odchylka  $s = 9,46$ .

### 6.5.2 Roztříděný statistický soubor pro měřicí bod T4

Statistický soubor lze rovněž roztřídit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T1 pak lze uvažovat:

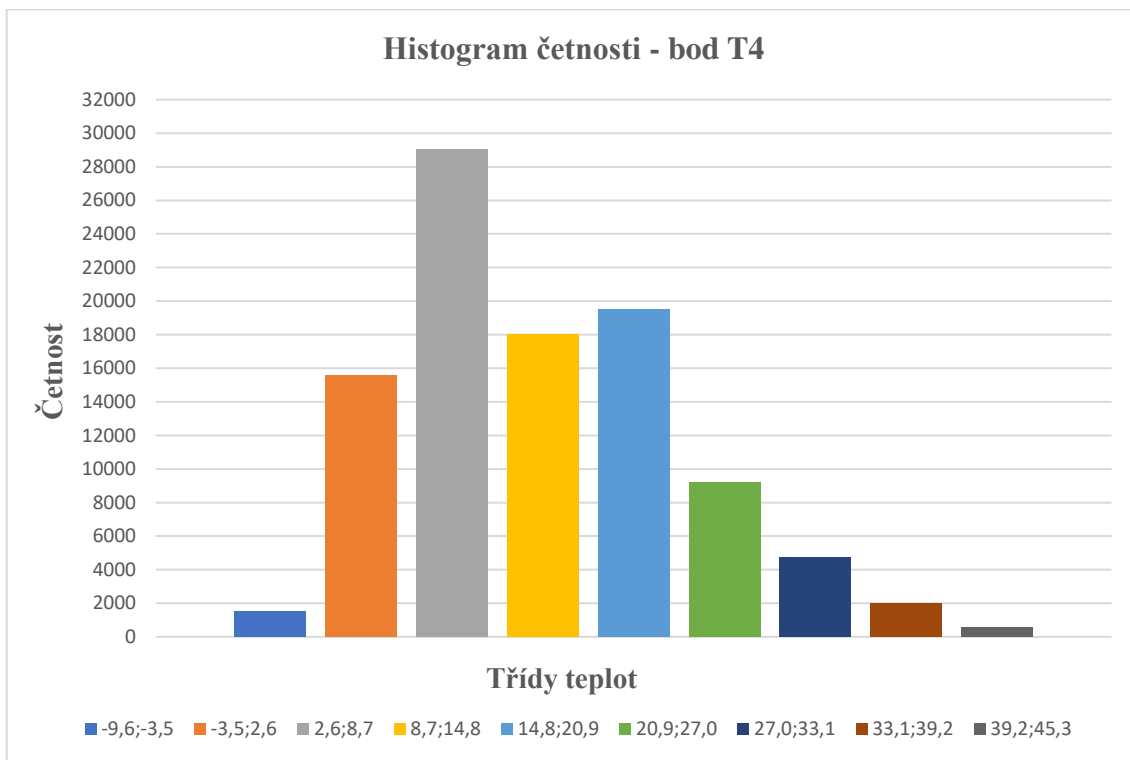
Vypočítané  $m = 17,5$  a  $h \approx 3,04$

Volím  $m = 9$  a  $h \approx 6,1$

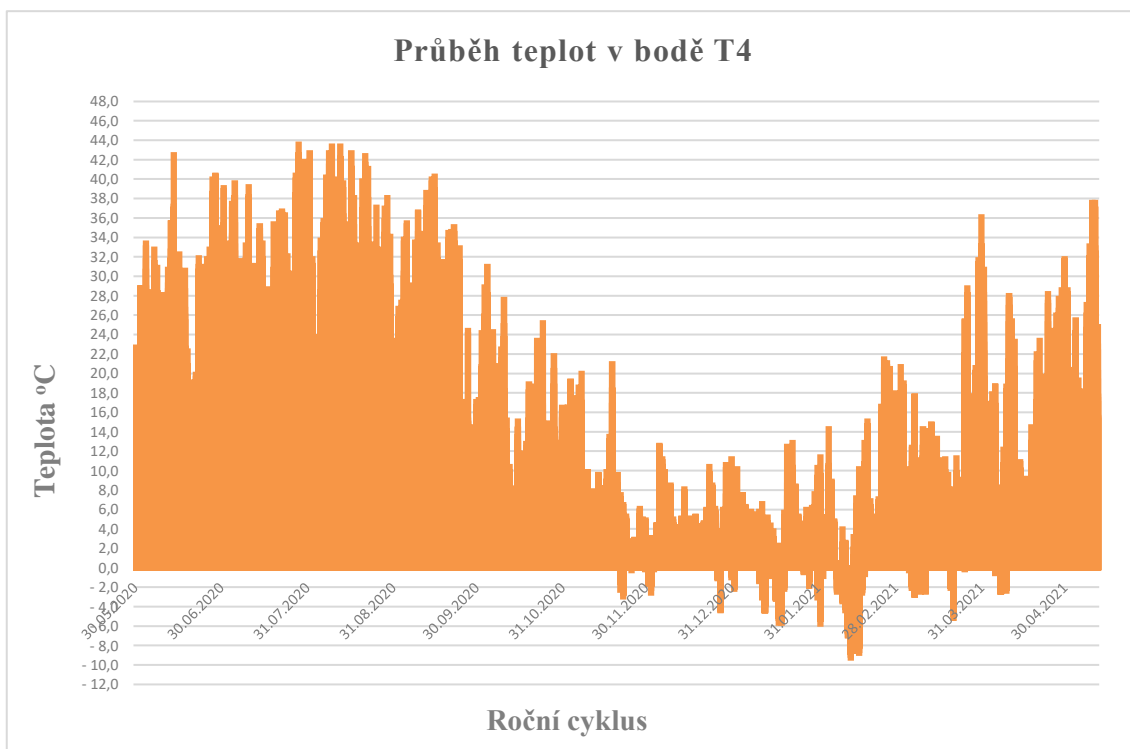
Tab. 6-10: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod T4

Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	-9,6;-3,5	1531	0,015 = 1,5%
$x_2^*$	-3,5;2,6	15578	0,156 = 15,6%
$x_3^*$	2,6;8,7	29016	0,290 = 29,0%
$x_4^*$	8,7;14,8	18026	0,180 = 18,0%
$x_5^*$	14,8;20,9	19531	0,195 = 19,5%
$x_6^*$	20,9;27,0	9230	0,092 = 9,2%
$x_7^*$	27,0;33,1	4723	0,047 = 4,7%
$x_8^*$	33,1;39,2	1990	0,019 = 1,9%
$x_9^*$	39,2;45,3	558	0,006 = 0,6%

Nejčastěji naměřené teploty ve vzduchové mezeře skladby dřevěného obkladu se pohybovaly v rozmezí teplot 2,6 – 8,7 °C. Z histogramu lze vyčíst že pokles teploty pod -3,5 °C byl minimální, stejně tak výskyt teplot nad 27,0 °C.



Graf 6-22: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T4 v průběhu ročního cyklu



Graf 6-23: Průběh teploty v měřícím bodě T4 po celou dobu měření

### 6.5.3 Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro bod T4

#### 6.5.3.1 Zimní období

Rozpětí roztržiděného statistického souboru pro měřicí bod T4 v zimním období je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -9,8; 22,2 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr roztržiděného souboru je  $\bar{x} = 2,54$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit roztržiděného souboru je  $\tilde{x} = 2,70$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 15,74$ .

Směrodatná odchylka  $s = 3,97$ .

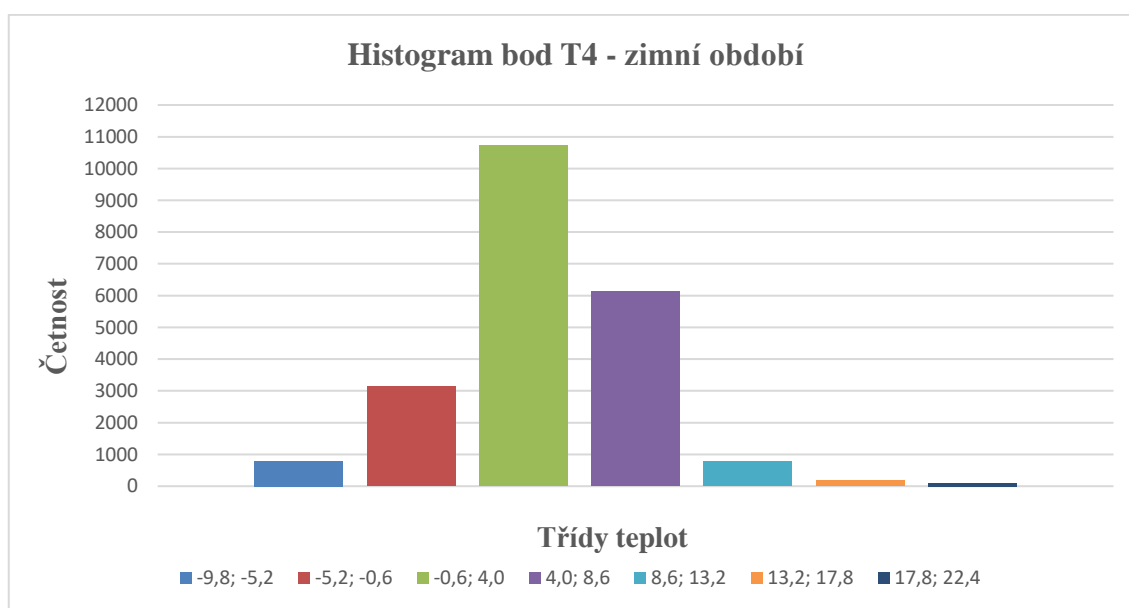
Statistický soubor lze rovněž roztržidit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T4 v zimním období pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 15,3$  a  $h \approx 2,09$

Volím  $m = 7$  a  $h \approx 4,6$

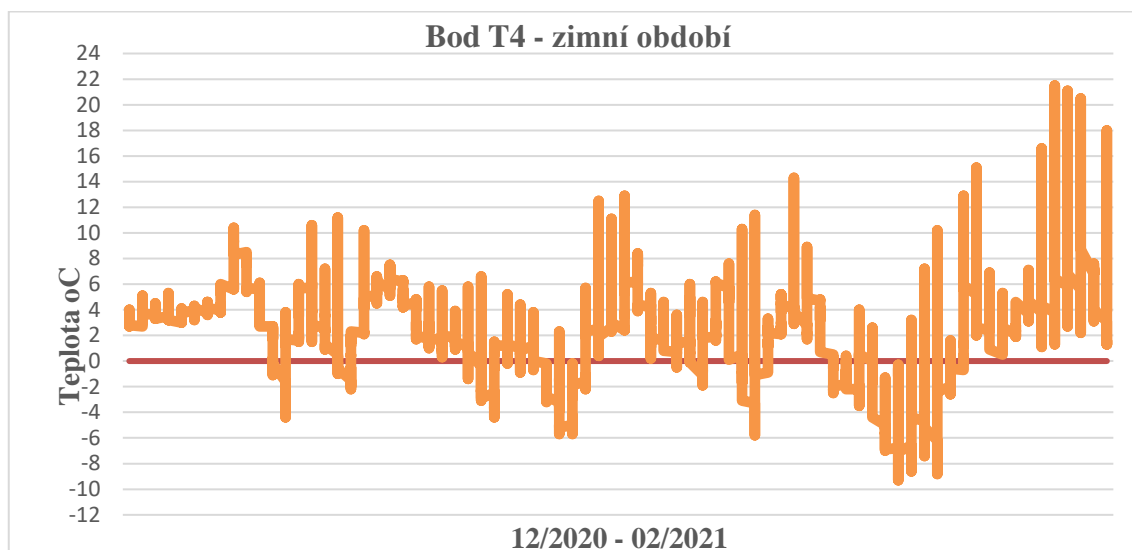
Tab. 6-11: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod T4

Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	-9,8; -5,2	800	0,037 = 3,7 %
$x_2^*$	-5,2; -0,6	3141	0,144 = 14,4 %
$x_3^*$	-0,6; 4,0	10733	0,490 = 49,0 %
$x_4^*$	4,0; 8,6	6142	0,280 = 28,0 %
$x_5^*$	8,6; 13,2	789	0,036 = 3,6 %
$x_6^*$	13,2; 17,8	181	0,008 = 0,8 %
$x_7^*$	17,8; 22,4	102	0,005 = 0,5 %



Graf 6-24: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T4 v zimním období





Graf 6-25: Průběh teploty v měřicím bodě T4 v zimním období

### 6.5.3.2 Letní období

Rozpětí roztržiděného statistického souboru pro měřicí bod T4 v letním období je délkou variačního oboru intervalu  $\langle 9,8; 45,2 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr roztržiděného souboru je  $\bar{x} = 21,97$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit roztržiděného souboru je  $\tilde{x} = 20,2$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 43,46$ .

Směrodatná odchylka  $s = 6,59$ .

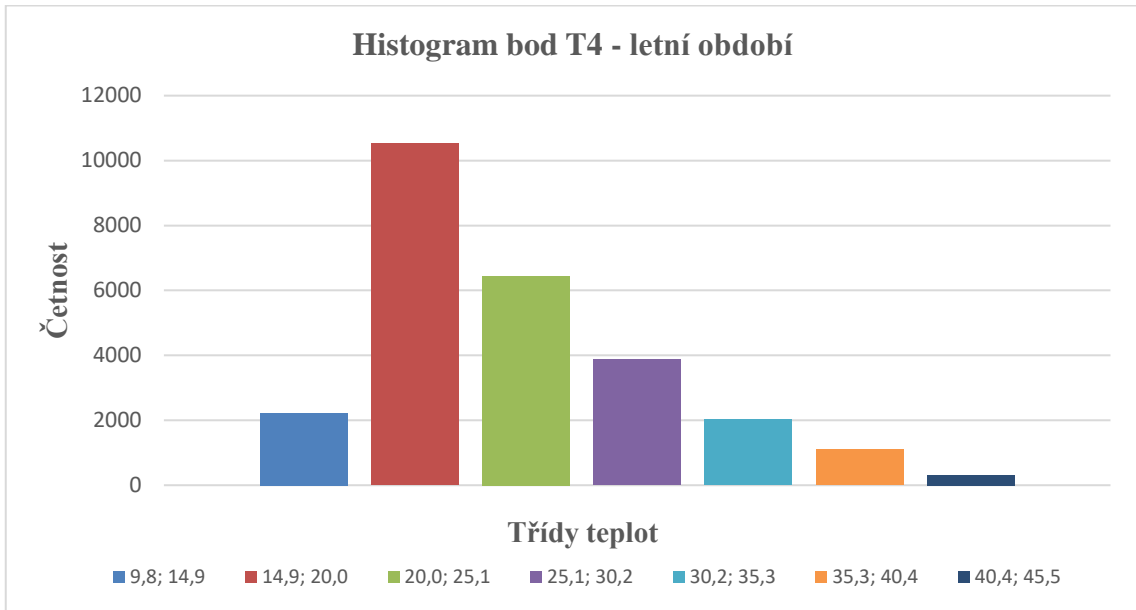
Statistický soubor lze rovněž roztržidit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě T4 v letním období pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 15,3$  a  $h \approx 2,31$

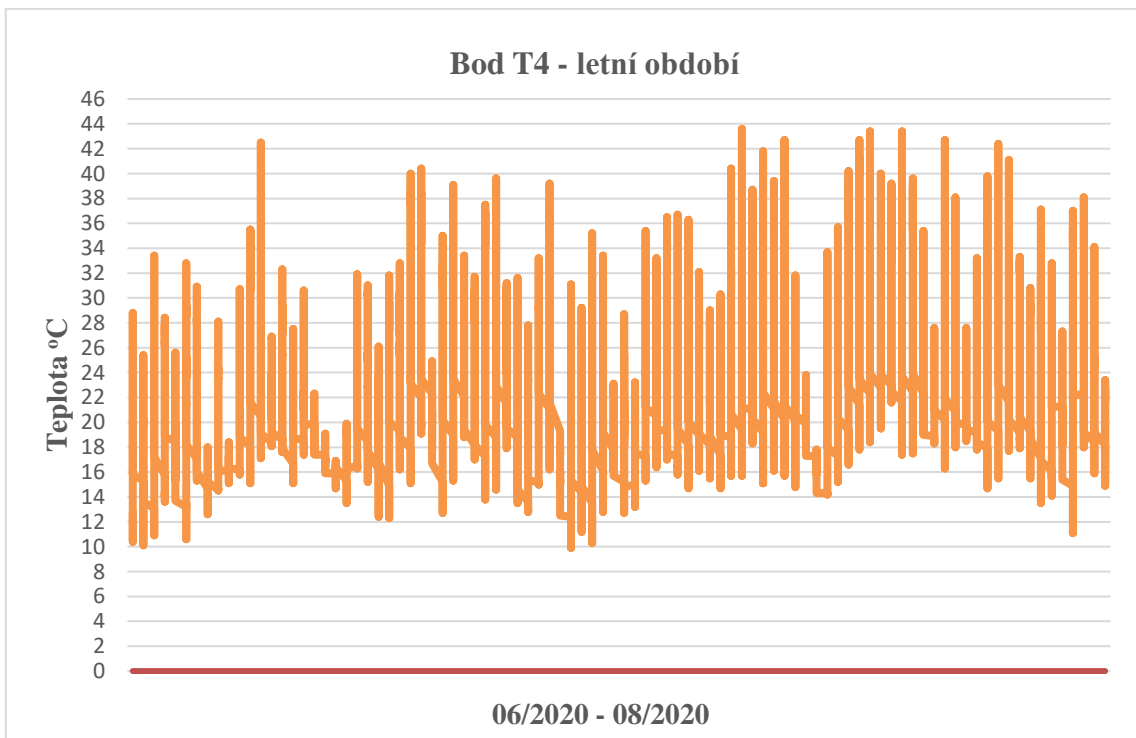
Volím  $m = 7$  a  $h \approx 5,1$

Tab. 6-12: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod T4 v letním období

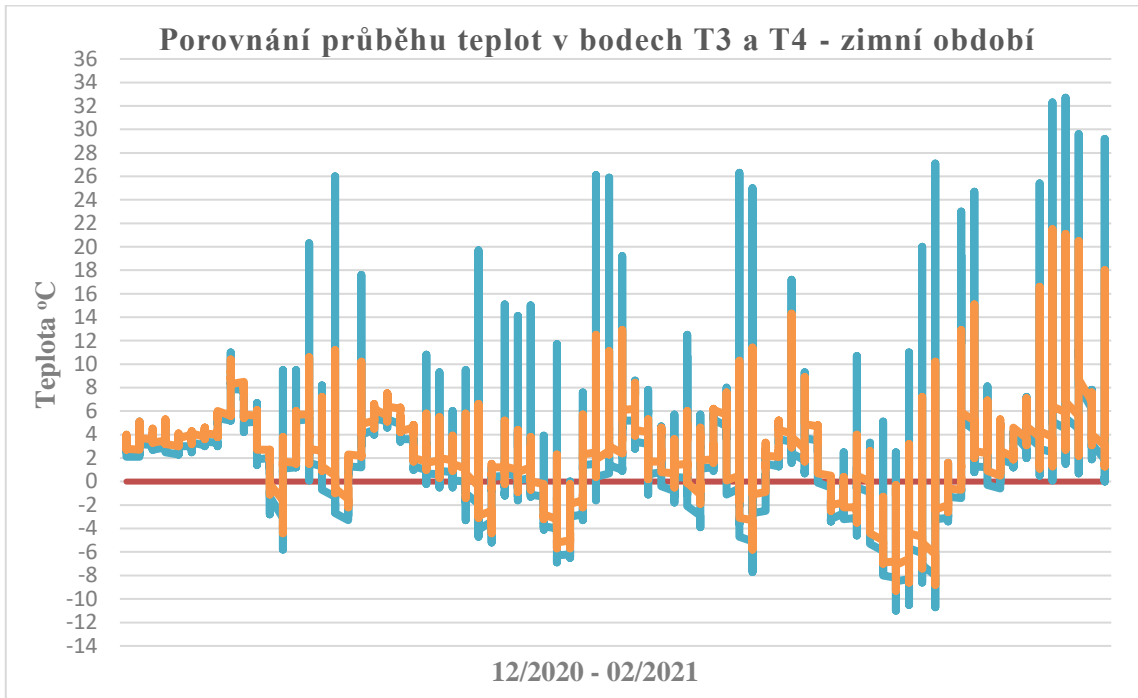
Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	9,8; 14,9	2224	0,084 = 8,4 %
$x_2^*$	14,9; 20,0	10520	0,397 = 39,7 %
$x_3^*$	20,0; 25,1	6448	0,243 = 24,3 %
$x_4^*$	25,1; 30,2	3876	0,147 = 14,7 %
$x_5^*$	30,2; 35,3	2020	0,076 = 7,6 %
$x_6^*$	35,3; 40,4	1092	0,041 = 4,1 %
$x_7^*$	40,4; 45,5	316	0,012 = 1,2 %



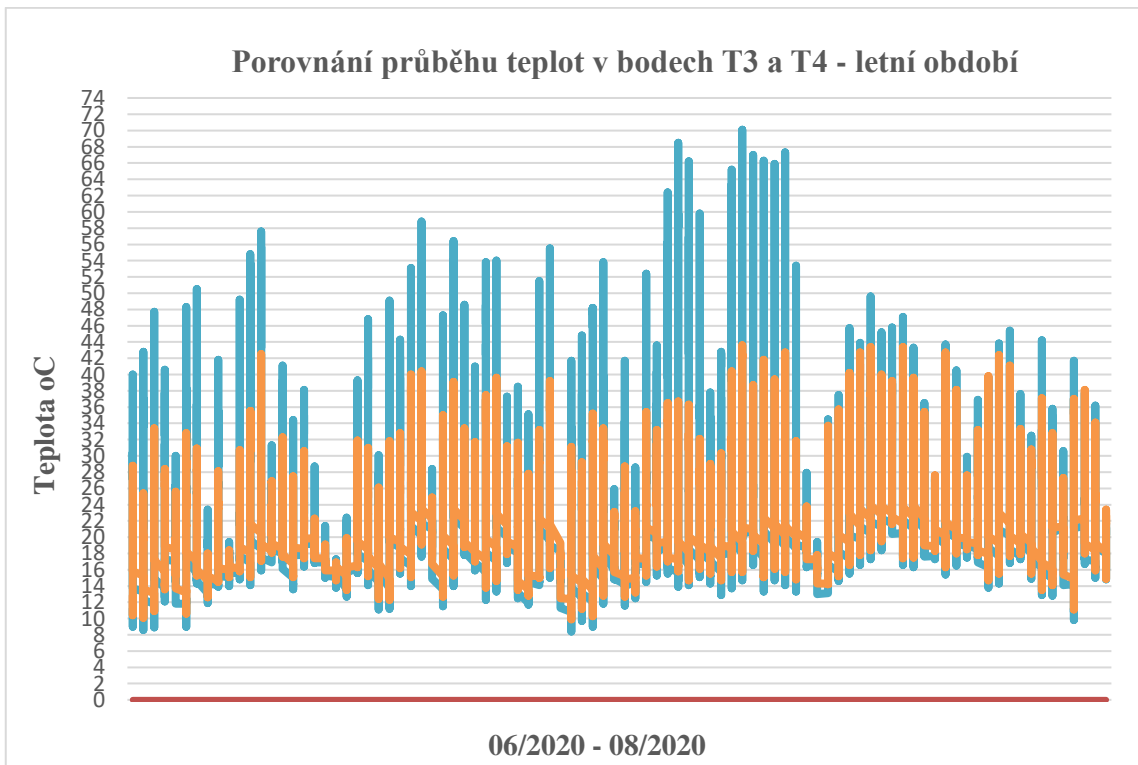
Graf 6-26: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T4 v letním období



Graf 6-27: Průběh teploty v měřícím bodě T4 v letním období

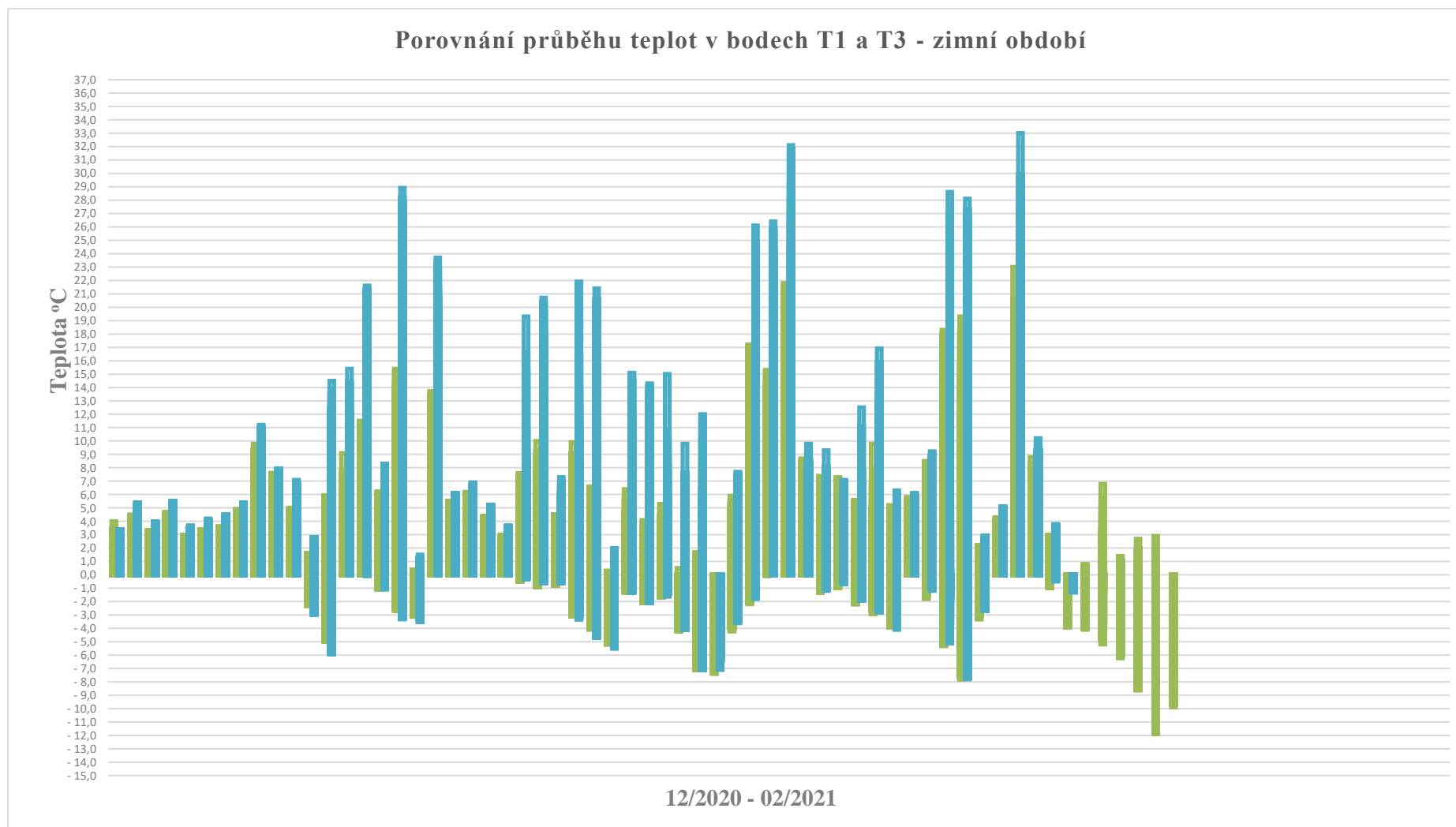


Graf 6-28: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T3 a T4 v zimním období

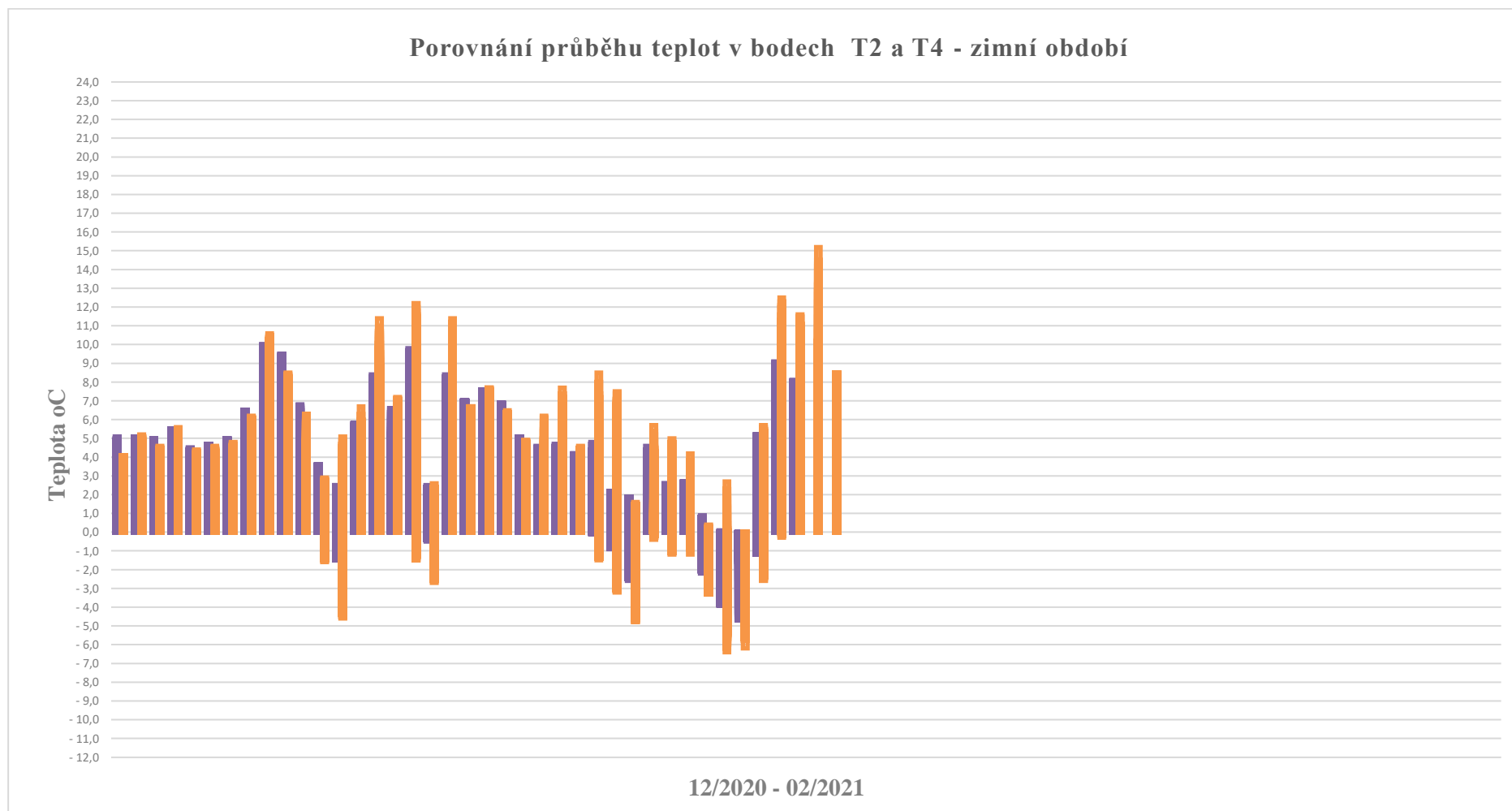


Graf 6-29: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T3 a T4 v letním období

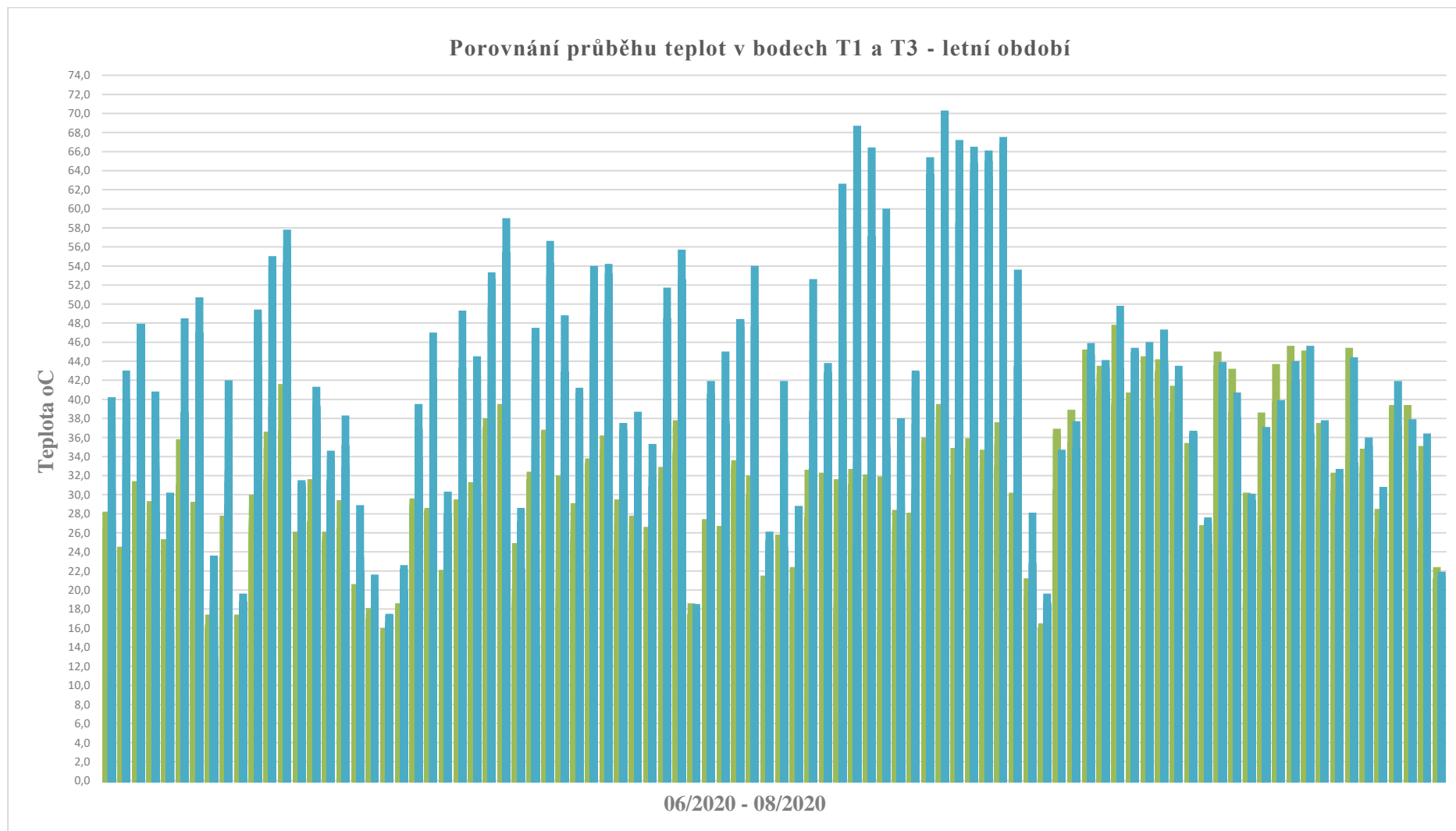




Graf 6-30: Porovnání průběhu teplot na líci obou fasád v zimním období

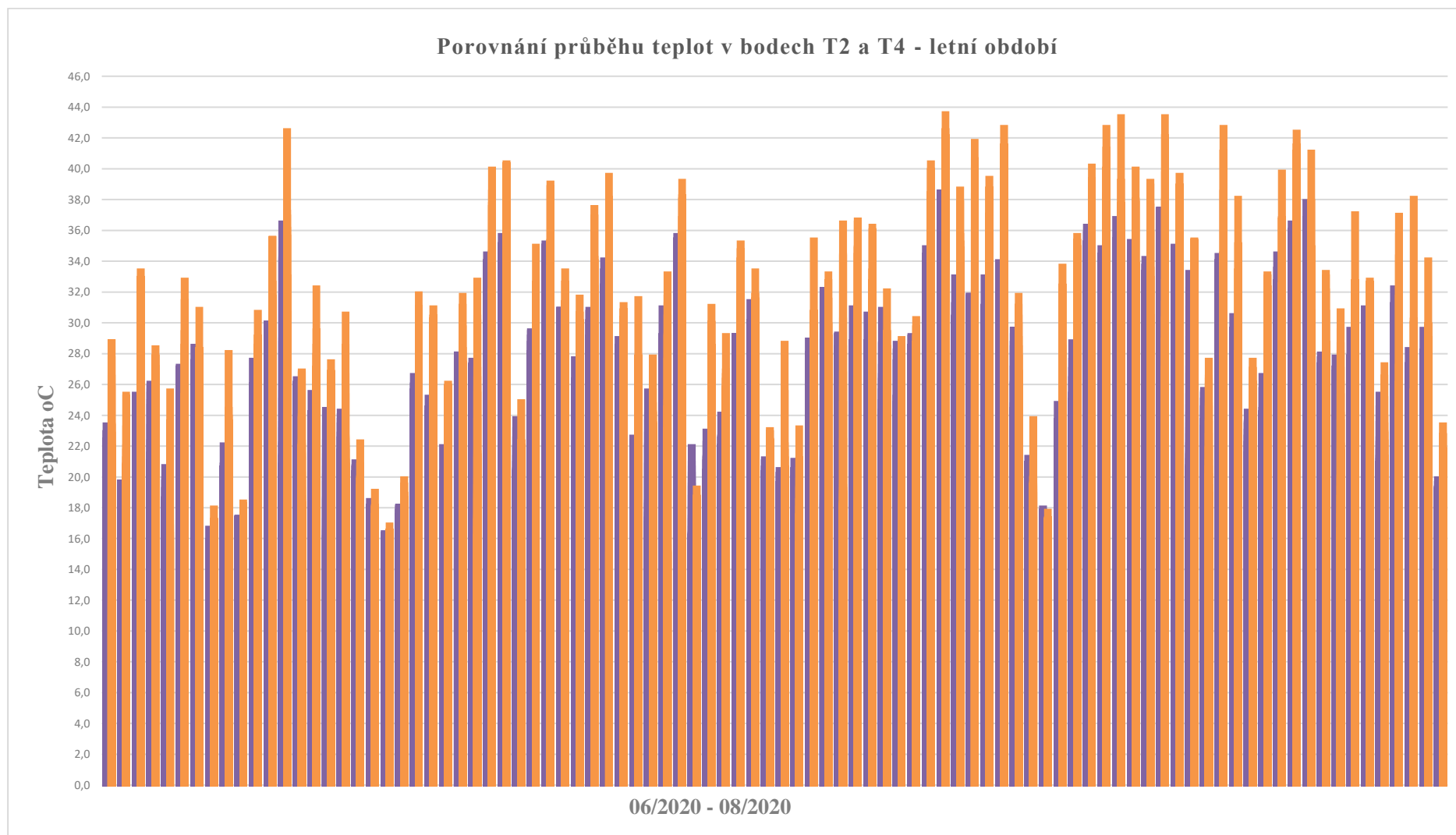


Graf 6-31: Porovnání průběhu teplot ve vzduchových mezerách obou fasád v zimním období

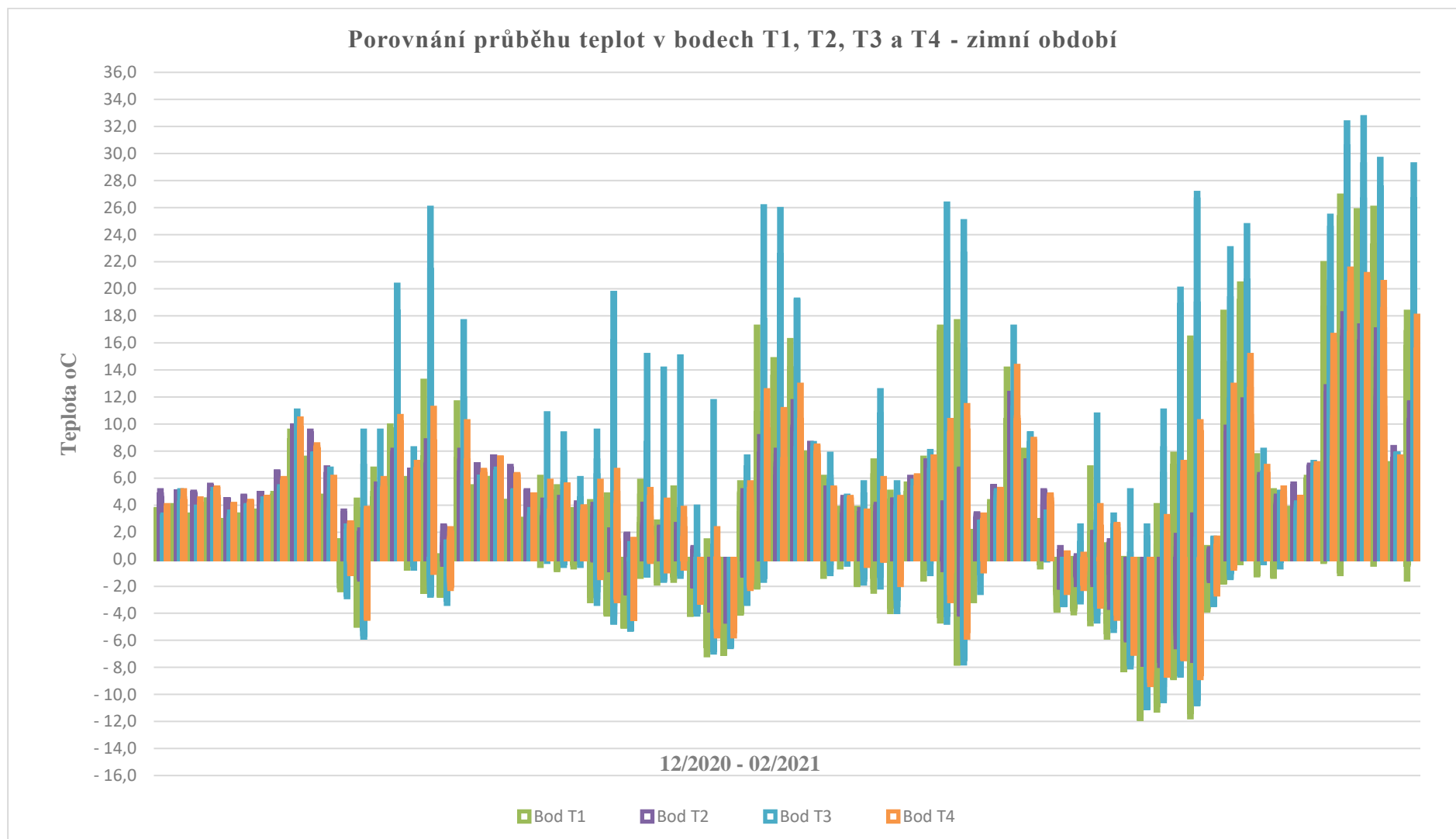


Graf 6-32: Porovnání průběhu teplot na líci obou fasád v letním období

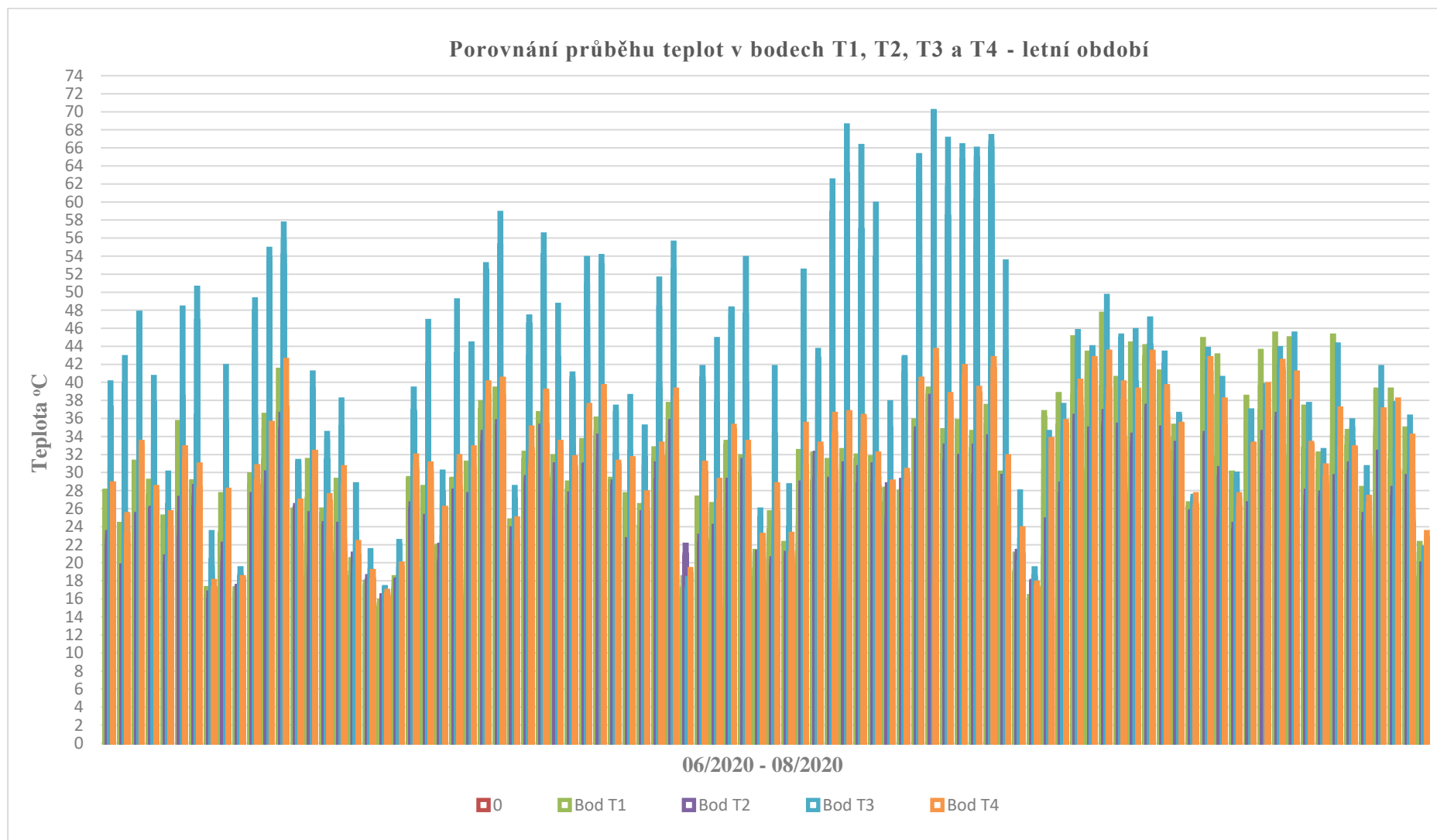




*Graf 6-33: Porovnání průběhu teplot ve vzduchových mezerách obou fasád v letním období*



Graf 6-34: Porovnání průběhu teplot ve všech měřených bodech v zimním období



Graf 6-35 : Porovnání průběhu teplot ve ve všech měřených bodech v letním období



## 6.6 Měřicí bod HMS (data ČHMÚ)

Data okolní teploty vzduchu naměřená Českým hydrometeorologickým ústavem v Brně na nejbližší hydrometeorologické stanici (dále jen HMS) - ČHMU Brno. Žabovřesky, ID stanice - B2BZAB01, umístění stanice - Kroftova 2578/43, 616 67 Brno-Žabovřesky, nadmořská výška - 236 m.n.m. (nadmořská výška testovacího objektu – 235 m.n.m.). Data poskytnutá ČHMU jsou za období 1. 5. 2020 – 30. 4. 2021. Data byla měřena v intervalu 10 minut. Všechna data jsou ve středoevropském zimním čase (SEČ). Statistický soubor obsahuje 52.564 měření.

### 6.6.1 Neroztříděný statistický soubor pro měřicí bod HMS

Rozpětí statistického souboru pro měřicí bod HS je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -11,9; 34,8 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr neroztříděného souboru je  $\bar{x} = 9,99$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantil neroztříděného souboru je  $\tilde{x} = 9,40$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 75,11$ .

Směrodatná odchylka  $s = 8,67$ .

### 6.6.2 Roztříděný statistický soubor pro měřicí bod HMS

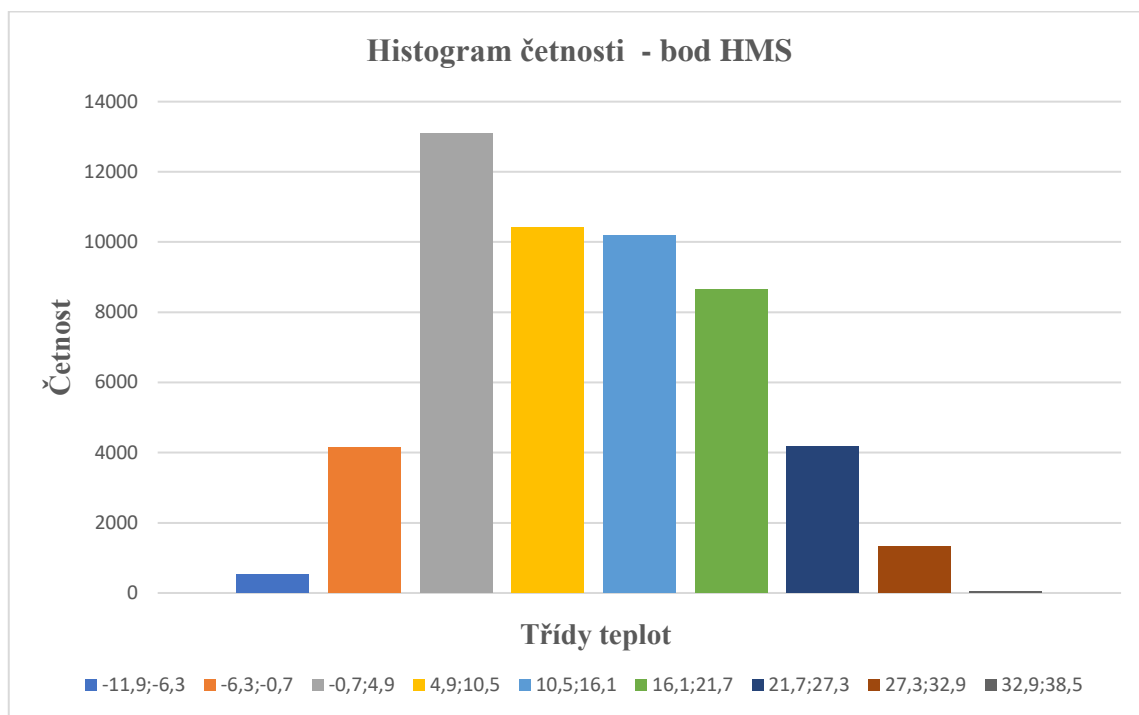
Statistický soubor lze rovněž roztrždit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot na HMS pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 16,6$  a  $h \approx 2,81$

Volím  $m = 9$  a  $h \approx 5,6$

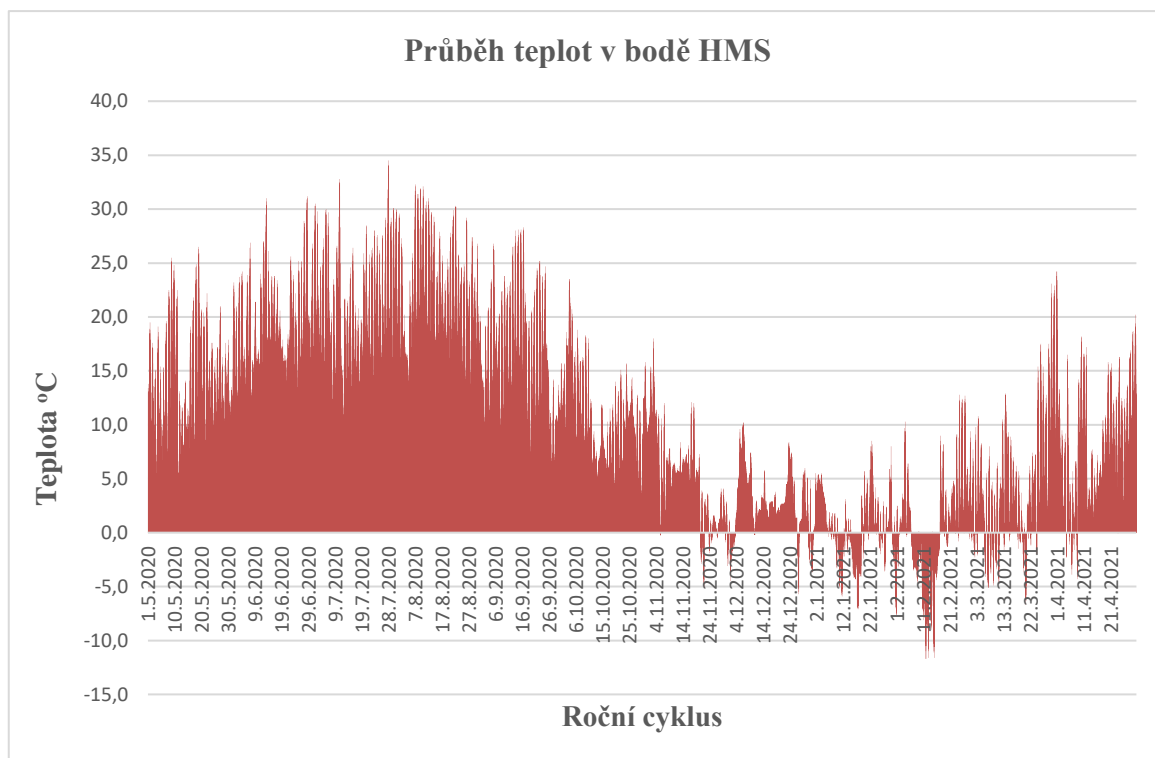
Tab. 6-13: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod HS

Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	-11,9;-6,3	527	0,010 = 1,0 %
$x_2^*$	-6,3;-0,7	4140	0,078 = 7,8 %
$x_3^*$	-0,7;4,9	13109	0,249 = 24,9 %
$x_4^*$	4,9;10,5	10418	0,198 = 19,8 %
$x_5^*$	10,5;16,1	10197	0,194 = 19,4 %
$x_6^*$	16,1;21,7	8645	0,164 = 16,4 %
$x_7^*$	21,7;27,3	4167	0,079 = 7,9 %
$x_8^*$	27,3;32,9	1323	0,025 = 2,5 %
$x_9^*$	32,9;38,5	34	0,0006 = 0,06 %



Graf 6-36: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod HS v průběhu ročního cyklu

Nejčastěji naměřené teploty na hydrometeorologické stanici se pohybovaly v rozmezí teplot -0,7 až 4,9 °C. Z histogramu lze vyčíst, že pokles teploty pod -6,3 °C byl minimální, stejně tak výskyt teplot nad 27,3 °C.



Graf 6-37: Průběh teploty v měřícím bodě HMS po celou dobu měření

### 6.6.3 Roztříděný statistický soubor pro letní a zimní období pro HMS

#### 6.6.3.1 Zimní období

Rozpětí roztržiděného statistického souboru pro měřicí bod HMS je délkou variačního oboru intervalu  $\langle -11,9; 13,0 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr roztržiděného souboru je  $\bar{x} = 1,16$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantit roztržiděného souboru je  $\tilde{x} = 1,30$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 15,38$ .

Směrodatná odchylka  $s = 3,92$ .

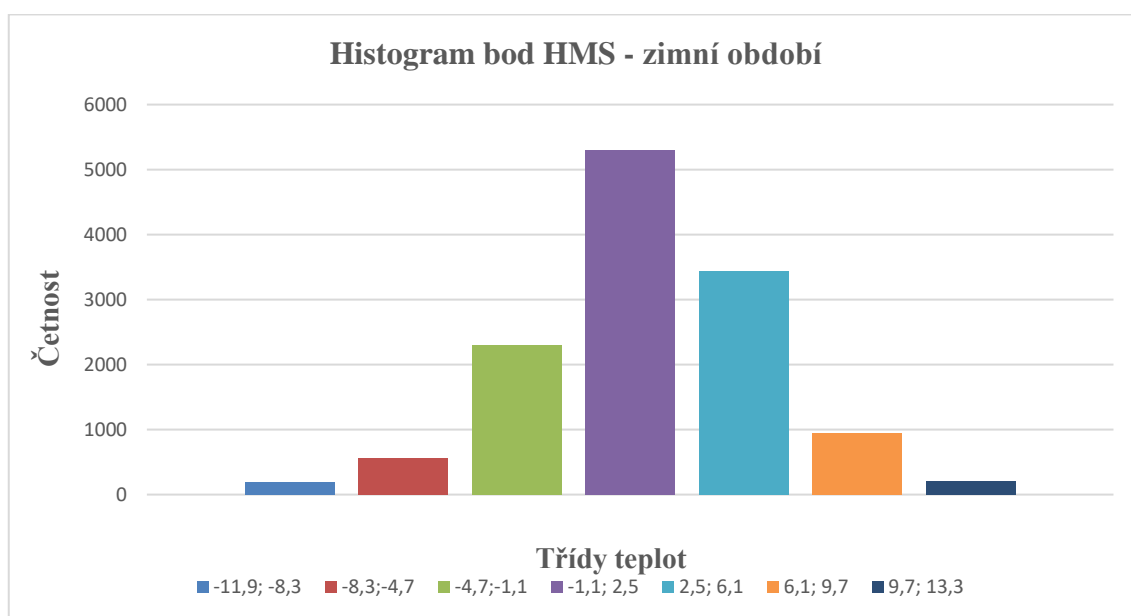
Statistický soubor lze rovněž roztržidit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě HMS v zimním období pak lze uvažovat:

Vypočítané  $m = 14,6$  a  $h \approx 1,7$

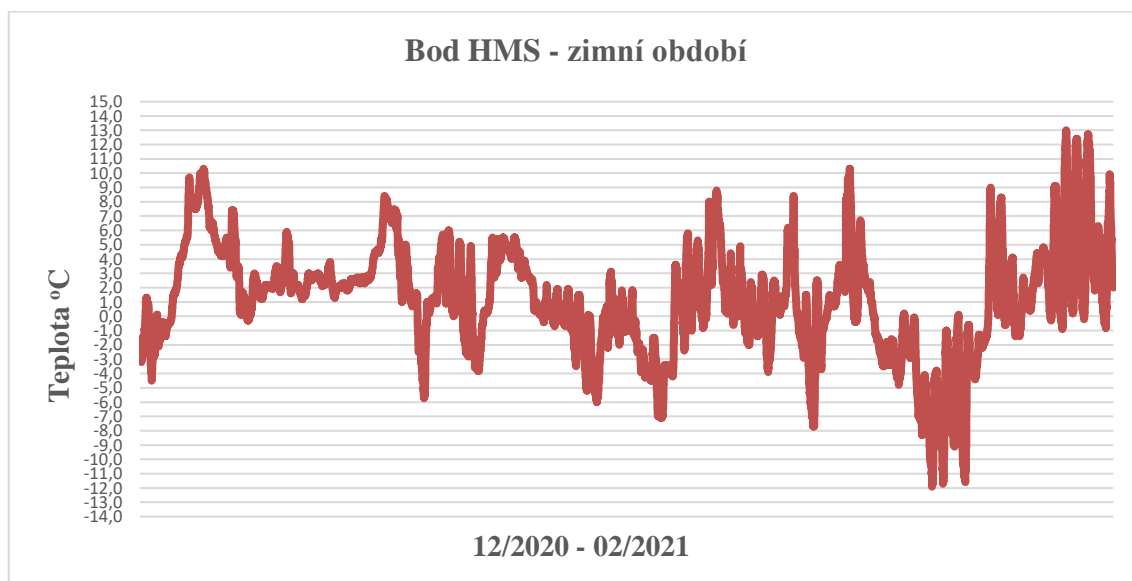
Volím  $m = 7$  a  $h \approx 3,6$

Tab. 6-14: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřicí bod HMS

Třída $x^*_j$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x^*_1$	-11,9; -8,3	197	0,015 = 1,5 %
$x^*_2$	-8,3; -4,7	565	0,044 = 4,4 %
$x^*_3$	-4,7; -1,1	2301	0,178 = 17,8 %
$x^*_4$	-1,1; 2,5	5306	0,409 = 40,9 %
$x^*_5$	2,5; 6,1	3442	0,266 = 26,6 %
$x^*_6$	6,1; 9,7	946	0,073 = 7,3 %
$x^*_7$	9,7; 13,3	203	0,016 = 1,6 %



Graf 6-38: Histogram rozdělení četnosti teplot pro bod HMS v zimním období



Graf 6-39: Průběh teploty v měřicím bodě HMS v zimním období

### 6.6.3.2 Letní období

Rozpětí roztríděného statistického souboru pro měřící bod HMS v letním období je délkou variačního oboru intervalu  $\langle 9,0; 34,8 \rangle$  °C.

Aritmetický průměr roztríděného souboru je  $\bar{x} = 19,90$  °C.

Medián neboli 50 %-ní kvantil roztríděného souboru je  $\tilde{x} = 19,10$  °C.

Rozptyl pro tento statistický soubor je  $s^2 = 23,91$ .

Směrodatná odchylka  $s = 4,89$ .

Statistický soubor lze rovněž roztrždit do tzv. tříd. Pro statistický soubor naměřených hodnot v bodě HMS v zimním období pak lze uvažovat:

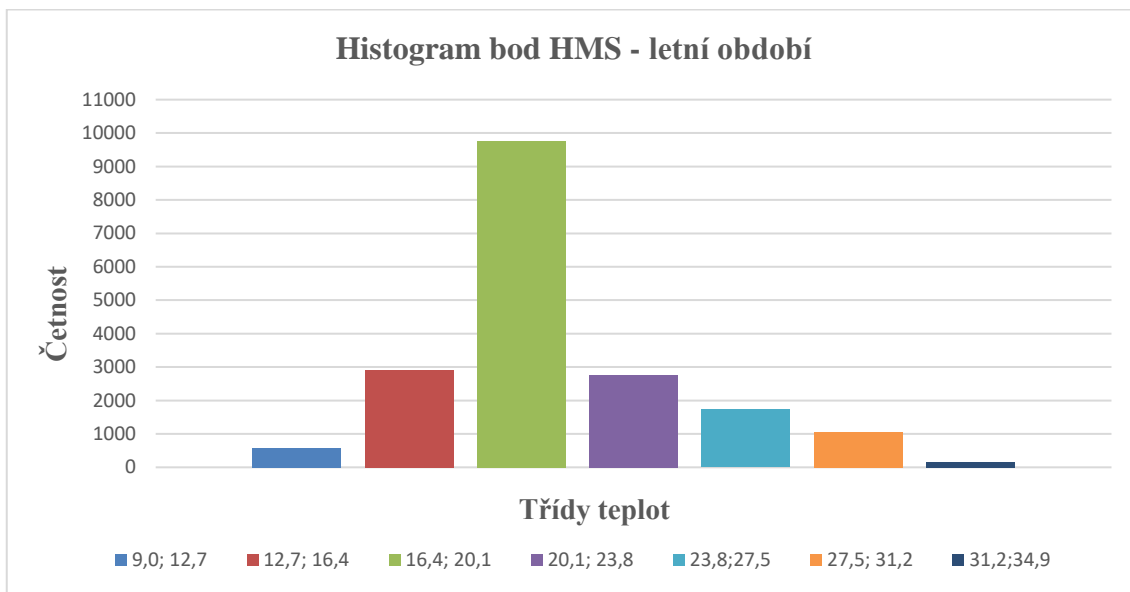
Vypočítané  $m = 14,60$  a  $h \approx 1,76$

Volím  $m = 7$  a  $h \approx 3,7$

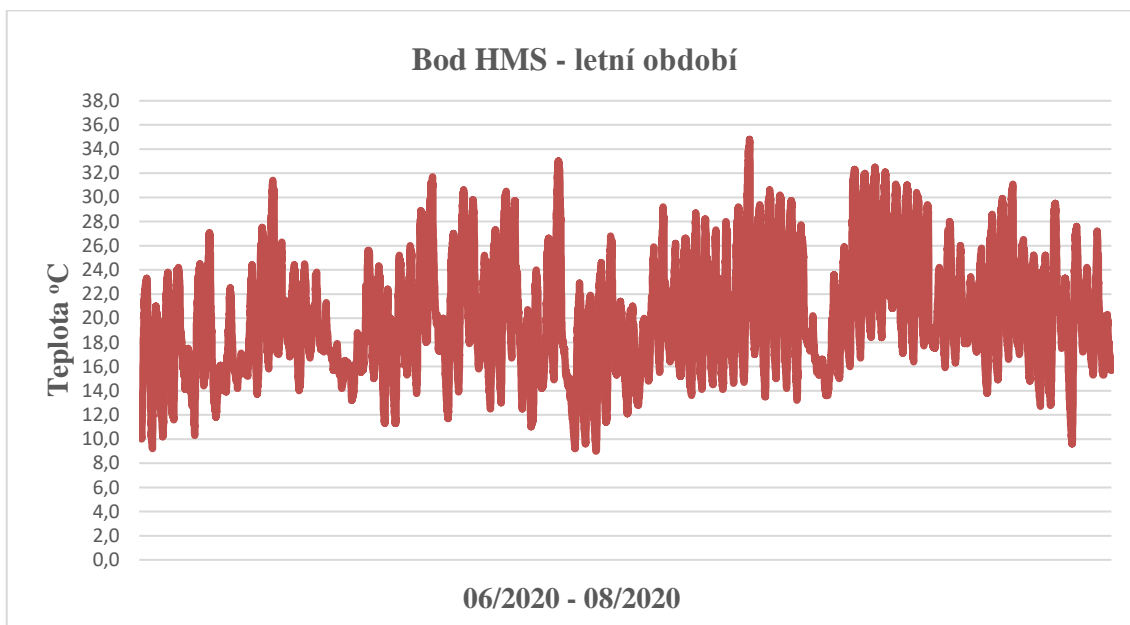
Tab. 6-15: Rozdělení absolutní četnosti  $n_j$  pro měřící bod T1

Třída $x_j^*$	$\langle t_{j-1}; t_j \rangle$	Četnost znaku $n_j$	Relativní četnost znaku $n_j/n$
$x_1^*$	9,0; 12,7	584	0,044 = 4,4 %
$x_2^*$	12,7; 16,4	2907	0,219 = 21,9 %
$x_3^*$	16,4; 20,1	9757	0,699 = 69,9 %
$x_4^*$	20,1; 23,8	2758	0,208 = 20,8 %
$x_5^*$	23,8; 27,5	1733	0,131 = 13,1 %
$x_6^*$	27,5; 31,2	1045	0,079 = 7,9 %
$x_7^*$	31,2; 34,9	168	0,013 = 1,3 %





Graf 6-40: Histogram rozdělení četnosti teplot pro bod HMS v letním období



Graf 6-41: Průběh teploty v měřicím bodě HMS v letním období

## 6.7 Naměřené minimální a maximální teploty

Na všech teplotních čidlech byly zaznamenány výrazné minimální i maximální naměřené hodnoty. Z obou následujících tabulek je patrné, že nejmenší rozptyl teplot byl naměřen v bodě T2 - ve větrané vzduchové mezeře za zelenou fasádou.

### 6.7.1 Minimální teploty v měřících bodech

Tab. 6-16: Tabulka nejnižších naměřených teplot v jednotlivých bodech

Datum	Čas	T1	T2	T3	T4	HMS
15. 02. 2021	7:20:00	-12,4	-7,5	-10,6	-8,2	-11,1
12. 02. 2021	7:20:00	-11,5	-8,1	-11,2	-9,8	-11,3
12. 02. 2021	5:40:00	-11,2	-7,4	-10,4	-8,7	-11,9

Minima naměřených teplot v jednotlivých bodech měření byla zaznamenána ve dnech 12. 2. a 15. 2. 2021, kdy i teplota naměřená v průběhu měřícího cyklu v bodě HMS byla na své minimální hodnotě. 12. únor 2021 se stal nejchladnějším dnem měřeného období. Z tabulky je patrné, že rozdíl teplot na lici zelené fasády a ve vzduchové mezeře za touto fasádou se pohybuje i v extrémních mrazech v rozmezí 3,4 – 4,9 °C. Všechna minima teplot byla naměřena v ranních hodinách zimních dnů.

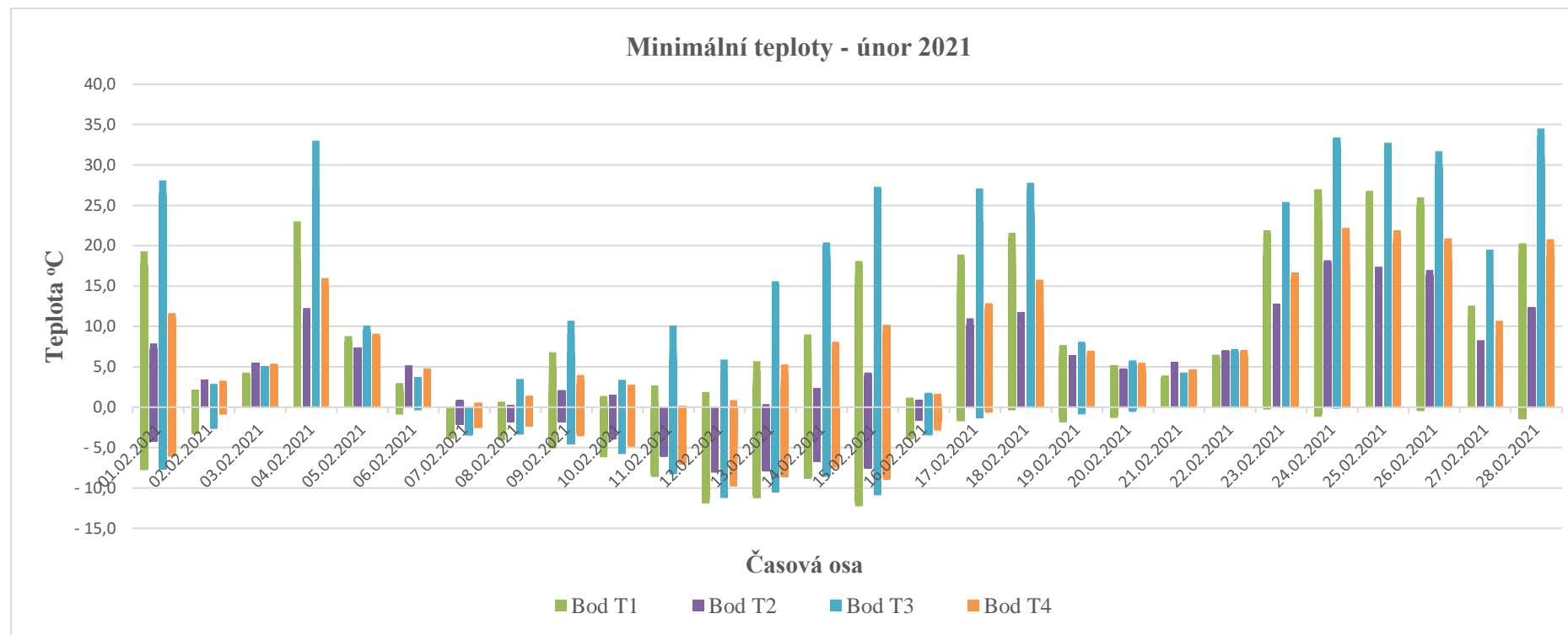
### 6.7.2 Maximální teploty v měřících bodech

Tab. 6-17: Tabulka nejvyšších naměřených teplot v jednotlivých bodech

Datum	Čas	T1	T2	T3	T4	HMS
31. 03. 2021	15:20:00	50,2	29,3	47,3	33,2	22,5
28. 07. 2020	17:10:00	39,5	39,3	59,2	42,0	33,9
12. 08. 2020	16:35:00	45,7	39,3	46,2	42,9	30,6
28. 07. 2020	15:25:00	39,8	38,4	71,2	42,4	33,3
12. 08. 2020	16:55:00	46,7	38,4	48,0	45,2	30,6
28. 07. 2020	17:50:00	38,9	38,1	56,0	42,5	34,8

Většina naměřených maxim teplot byla zaznamenána v letních měsících měřícího cyklu a to 28. 7. 2020 a 12. 8. 2020. Pouze v měřícím bodě T1 byla maximální teplota naměřena v jarním období – 31. 3. 2021. Tuto skutečnost je možno vysvětlovat obdobím vegetačního klidu rostlin na zelené fasádě a vypnutým zavlažovacím systémem. V tomto období jsou rostliny zatažené do kořenů a odhaluje se tak i černá podkladní geotextilie, na které je uchyceno teplotní čidlo. Ve slunečný den pak bylo v odpoledních hodinách čidlo na zelené fasádě zahříváno slunečním zářením stejně jako čidlo na dřevěném obkladu. Teplotní rozdíl mezi lícem zelené fasády a vzduchovou mezerou za fasádou byl pak téměř 21 °C. Všechny maxima teplot byly naměřeny v odpoledních hodinách letních dnů.

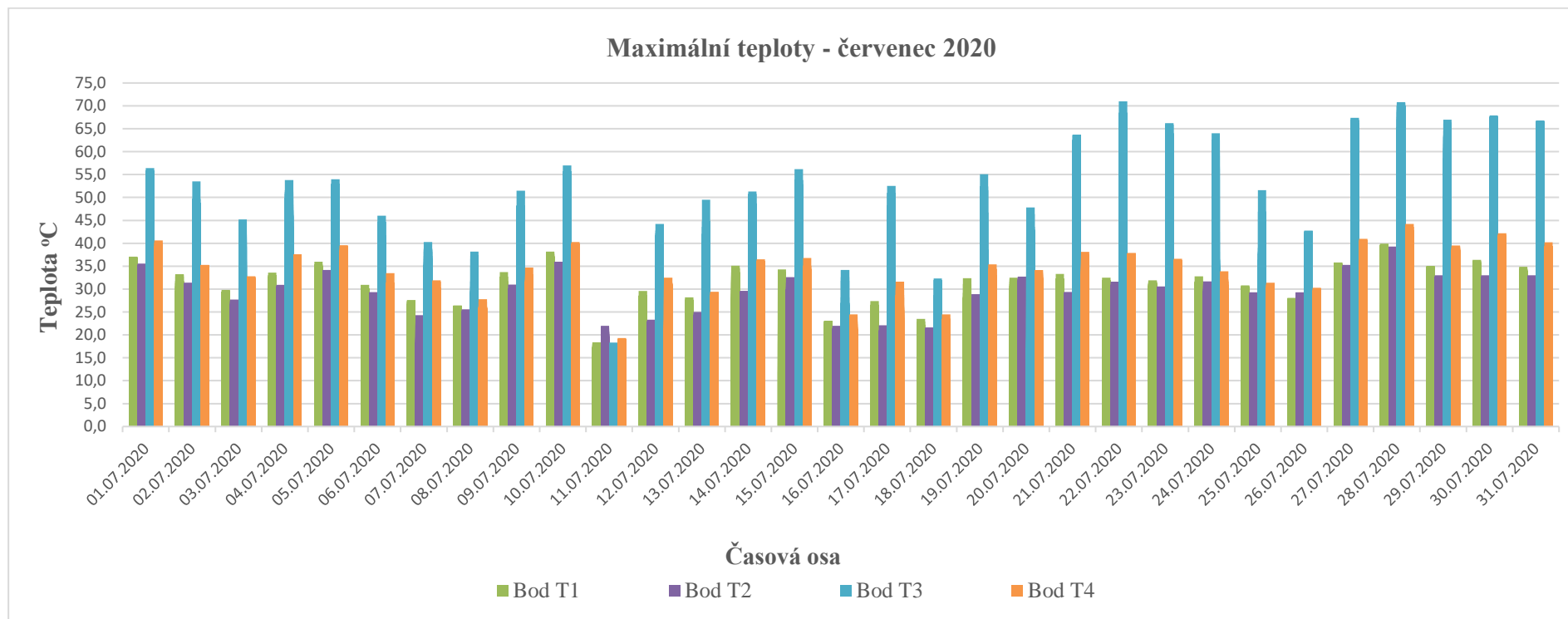
### 6.7.3 Minimální naměřené teploty v průběhu února 2021



Graf 6-42: Naměřená minima teplot v jednotlivých bodech v průběhu února 2021

Vyhodnocení naměřených teplot v průběhu zimního měsíce února 2021 lze konstatovat, že k největšímu zahřívání ve slunečných zimních dnech dochází na dřevěném obkladu fasády – bod T3, ale také na povrchu zelené fasády v bodě T1. Tuto skutečnost je možné vysvětlit obdobím vegetačního klidu rostlin, jejich menším vzrůstem a tím i odhalením podkladní černé geotextilie. Na líci zelené fasády byly naměřeny hodnoty teplot v maximum až o 10 °C nižší než na dřevěném obkladu. Nejvyrovnanější hodnoty minimálních teplot vykazovala vzduchová mezera za zelenou fasádou.

### 6.7.4 Maximální naměřené teploty v průběhu července 2020



Graf 6-43: Naměřená maxima teplot v jednotlivých bodech v průběhu července 2020

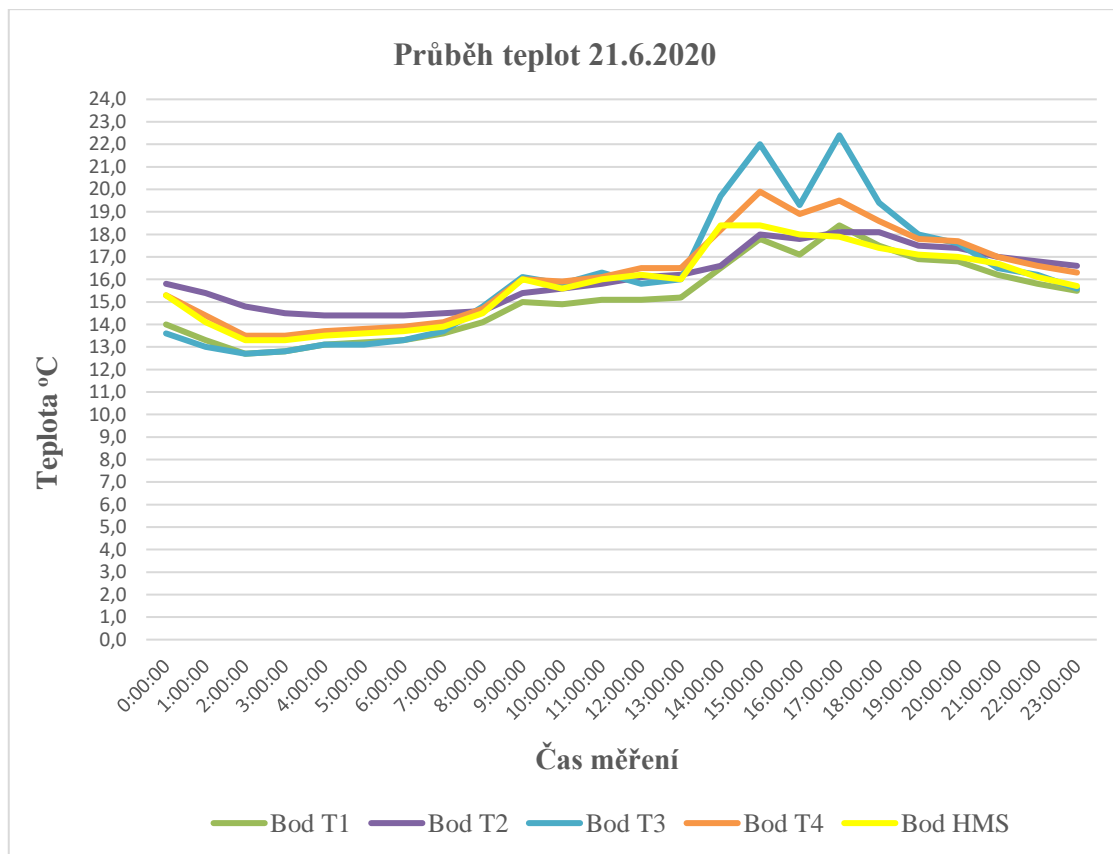
Vyhodnocením naměřených teplot v průběhu letního měsíce července 2020 lze konstatovat, že k největšímu zahřívání dochází na dřevěném obkladu fasády – bod T3 a následně pak se prohřívá i větraná vzduchová mezera této skladby – bod T4. Na líci zelené fasády – bod T1, byly naměřeny hodnoty teplot v maximu až o cca 20 °C nižší než na dřevěném obkladu. Nejvyrovnanější hodnoty maximálních teplot v průběhu měsíce vykazovala větraná vzduchová mezera za zelenou fasádou – bod T2.



## 6.8 Průběh teploty ve vybraných dnech

### 6.8.1 Letní slunovrat (21. 6. 2020)

V grafu jsou uvedeny hodnoty naměřené v jednotlivých měřicích bodech v průběhu celého dne letního slunovratu v roce 2020 včetně hodnot naměřených na hydrometeorologické stanici.



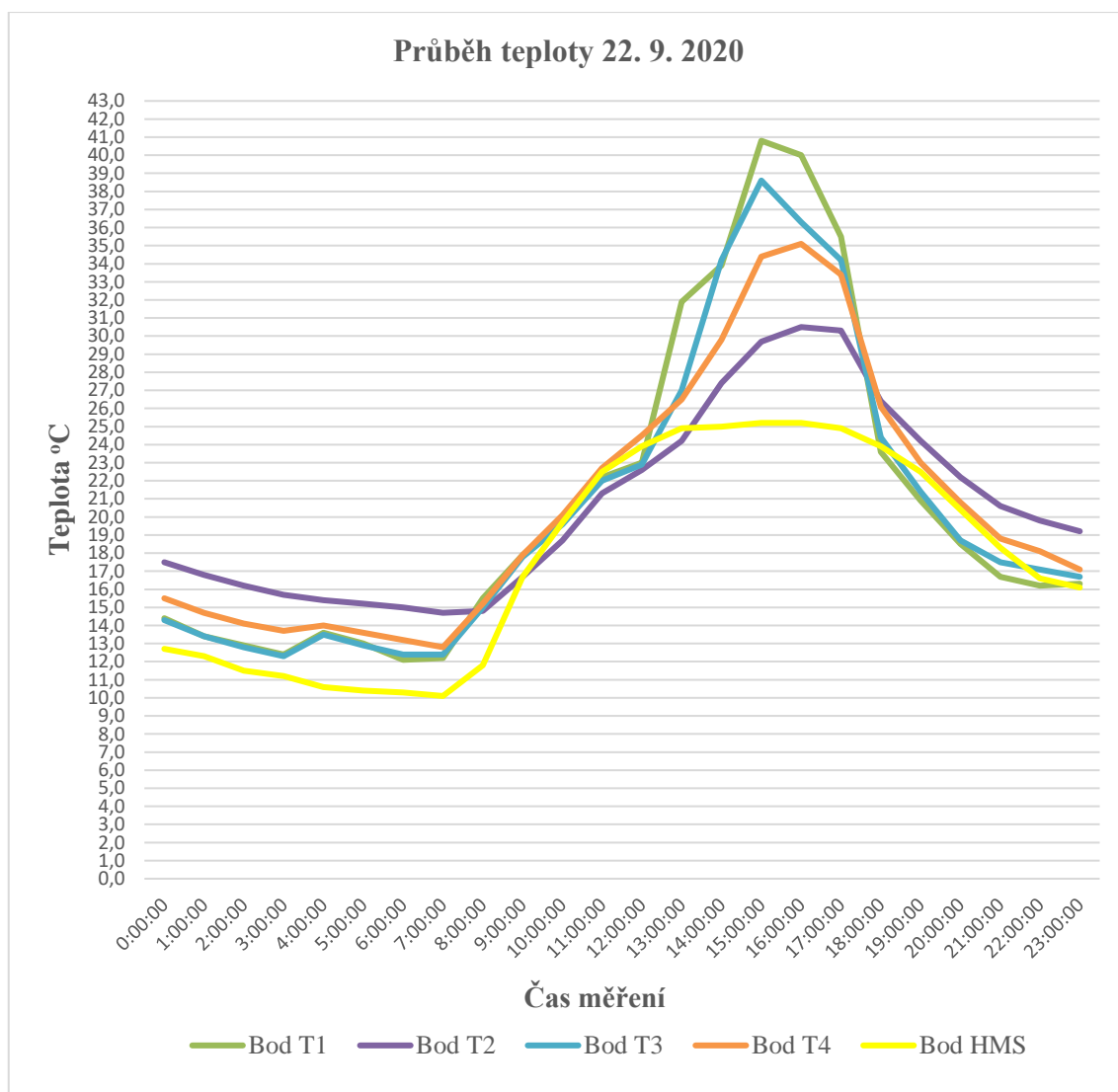
Graf 6-44: Průběh teplot během 1. dne astronomického léta 21. 6. 2020 (letní slunovrat)

Ze zobrazeného průběhu jednotlivých měření lze konstatovat, že nejmenší výkyv teplot má křivka v bodě T2 – vzduchové mezeře za zelenou fasádou, kdy i při poklesu teploty okolního vzduchu, klesá teplota v této vzduchové vrstvě výrazně pomaleji.

K největším výkyvům teplot dochází mezi 13. a 19 hod. kdy teploty ve všech měřených bodech dosahují maxima. Nejvíce je zahříván dřevěný obklad fasády a vzduchová mezera za touto fasádou. Rozdíl teplot na lici zelené fasády a dřevěném obkladu je cca 5 °C.

## 6.8.2 Podzimní rovnodennost (22. 9. 2020)

V grafu jsou uvedeny hodnoty naměřené v jednotlivých měřicích bodech v průběhu celého dne podzimní rovnodennosti v roce 2020 včetně hodnot naměřených na hydrometeorologické stanici.

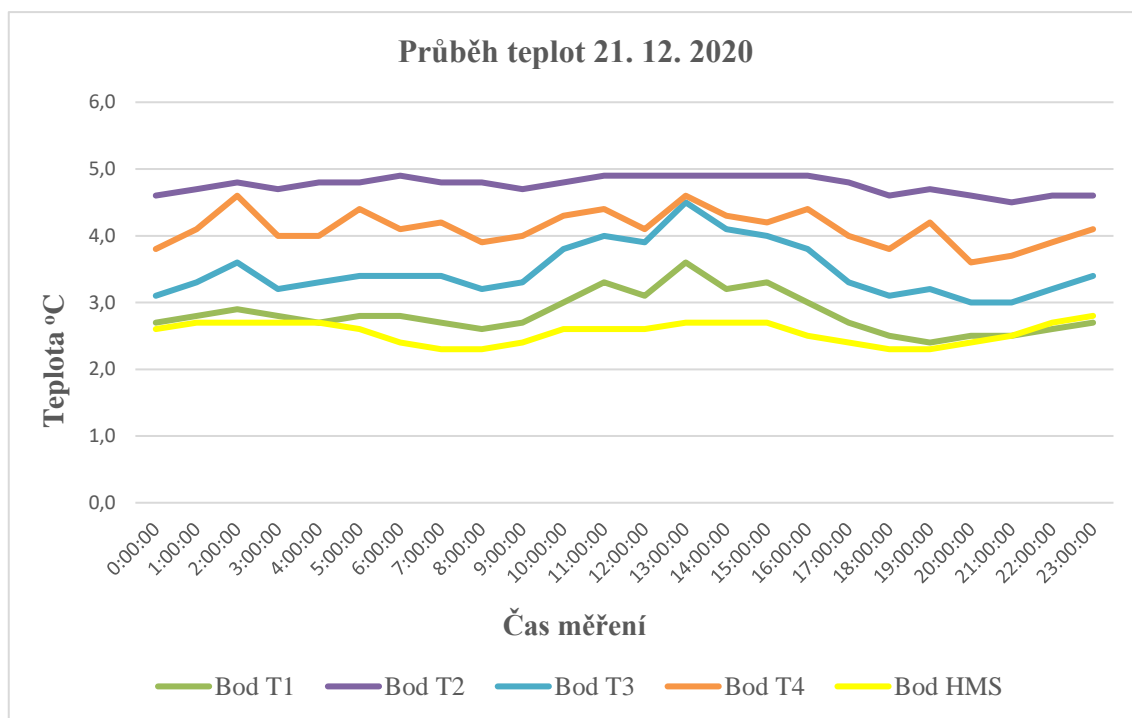


Graf 6-45: Průběh teplot během 1. dne astronomického podzimu 22. 9. 2020 (podzimní rovnodennost)

Po teplém předchozím dnu, kdy i noční teploty zůstávaly poměrně vysoké, začala teplota ve všech měřených vrstvách strmě narůstat kolem 7 hod. ranní a maxim dosahovala kolem 16 hodiny, kdy došlo k prudkému poklesu teplot vlivem bouřky v místě měření. V podvečer už docházelo k běžnému rovnoměrnému poklesu teplot ve všech měřených bodech.

### 6.8.3 Zimní slunovrat (21. 12. 2020)

V grafu jsou uvedeny hodnoty naměřené v jednotlivých měřicích bodech v průběhu celého dne zimního slunovratu roku 2020 včetně hodnot naměřených na hydrometeorologické stanici.



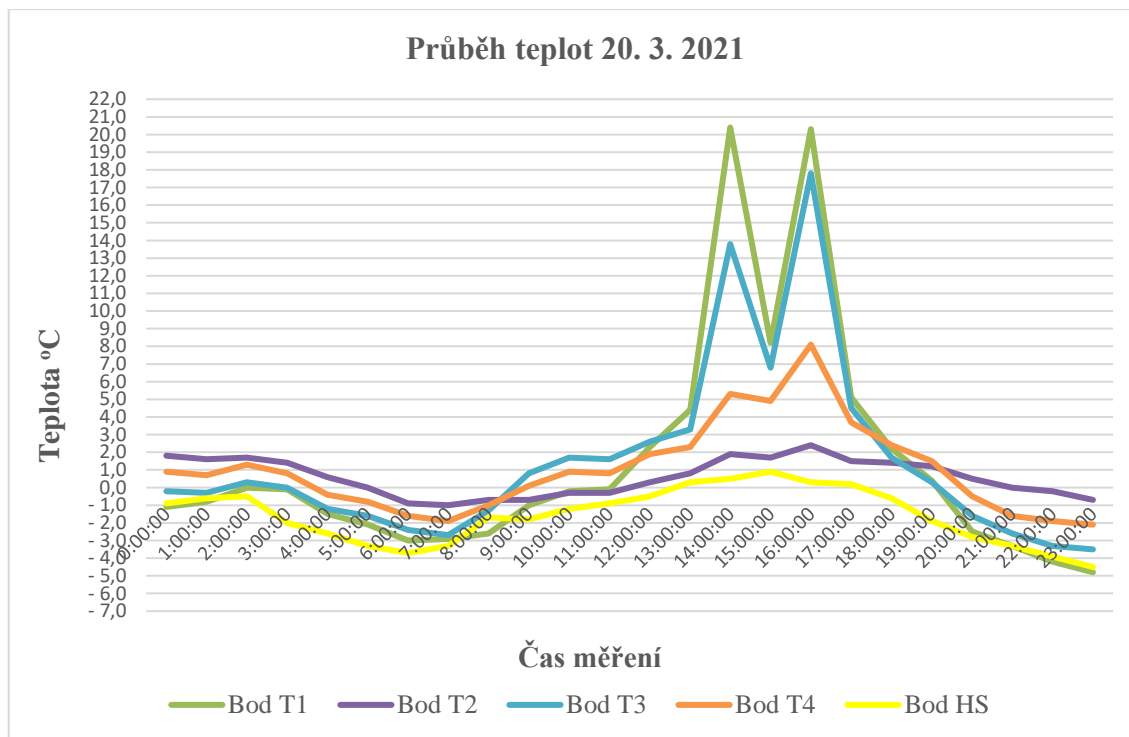
Graf 6-46: Průběh teplot během 1. dne astronomické zimy 21. 12. 2020 (zimní slunovrat)

Ze zobrazeného průběhu jednotlivých měření lze konstatovat, že nejmenší výkyv teplot má křivka v bodě T2 – vzduchové mezeře za zelenou fasádou, kdy i při poklesu okolních teplot, klesá teplota v této vzduchové vrstvě výrazně pomaleji.

K největším výkyvům teplot dochází mezi 9 až 17 hod., kdy teploty ve všech měřených bodech dosahují denního maxima. Nejvyrovnanější průběh teploty vykazuje měření v bodě T2 - vzduchová mezera za zelenou fasádou, kde byla v průběhu celého dne naměřena téměř konstantní nejvyšší teplota.

### 6.8.4 Jarní rovnodennost (20. 3. 2021)

V grafu jsou uvedeny hodnoty naměřené v jednotlivých měřicích bodech v průběhu celého dne jarní rovnodennosti v roce 2021 včetně hodnot naměřených na hydrometeorologické stanici.



Graf 6-47: Průběh teplot během 1. dne astronomického jara 20. 3. 2021 (jarní rovnodennost)

Ze zobrazeného průběhu jednotlivých měření lze konstatovat, že nejvyšší výkyv teplot byl naměřen na lících obou měřených fasád, které byly po poledni plně osluněny.

K největším výkyvům teplot dochází mezi 13. až 17 hod. kdy teploty ve všech měřených bodech dosahují maxima. V tento slunečný den byla naměřena nejvyšší teplota na lici zelené fasády v bodě T1, která nebyla zavlažována a rostliny byly ještě v období vegetačního klidu. Vliv na tuto skutečnost měla patrně i černá barva geotextilie ve skladbě vertikální zelené stěny. Nejmenší výkyv teplot má křivka v bodě T2 – vzduchové mezeře za zelenou fasádou, kdy i při poklesu okolních teplot, klesá teplota v této vzduchové vrstvě výrazně pomaleji. Tato vrstva si opět udržuje nejvyrovnanější teplotu.



## 7 ZÁVĚR

### 7.1 Obecné závěry

S ubývající zelení ve městech stoupá snaha o ozeleňování vertikálních ploch v interiérech i exteriérech. Systémy zelených fasád jsou také jednou z variant, která je zároveň šetrná k životnímu prostředí, pro vytváření energeticky úsporného obvodového pláště budov, který je základem pro nízkou energetickou náročnost budovy v době, kdy neustále rostoucí ceny energií vedou k tlaku na snižování energetické náročnosti budov. Podíl budov činí na celkové spotřebě energie v EU 40 % a s přibývajícím zástavbou a urbanizací krajiny neustále roste. Zeleň ve městech poté funguje jako přirozená klimatizace.

Doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc. který se zabývá aplikovaným výzkumem v oblasti solární a krajinné energetiky, rybníčního hospodaření, hospodaření s vodou v krajině, využití přírodních i umělých mokřadů, varuje, že změny ve vodním režimu krajiny, které způsobuje urbanizace i dost přežilý model intenzivního zemědělství, jsou pro klima daleko nebezpečnější než skleníkové plyny.

Návratem zeleně do měst, kde není prostor pro rozsáhlé zelené plochy parků, bychom formou zelených fasád a střech dokázali významně přispět k řešení tzv. nového vodního paradigmatu, kdy je třeba vodu zadržet v krajině co nejdéle a vytvářet podmínky, aby se mohla účastnit tzv. „malého vodního cyklu“.

Vytváření zelených ploch fasád a střech objektů se stává součástí tzv. biotické pumpy. Věda tento pojem vysvětluje jako jev, pro který dříve nebylo jasné vysvětlení. Jedná se o to, že přirozené lesy přitahují déšť z velkých vzdáleností a využívají další vlastnosti vody, tj. pára zaujímá tisíckrát větší objem než rosa, do které se vysráží. Když tedy v noci v lese vodní páry kondenzují na rosu, z ovzduší mizí obrovské objemy plynu a tlak vzduchu se snižuje. Nižší tlak vzduchu přitahuje vlhké vzdušné masy z dálky, a vrací tak na pevninu vodu z oceánu. Tato biotická pumpa je mnohem výkonnější než přehrady s čerpadly a zavlažovacími zařízeními. Je také mnohem levnější vrátit krajinu do stavu, kde by mohla tato biotická pumpa působit plošně.

Hledání nových fungujících fasádních modelů zelených vertikálních stěn by mělo být zajímavé nejen z hlediska ekologického, ale i ekonomického, obzvláště v době, kdy realizace vertikálních zahrad vážne na vysokých pořizovacích nákladech a vysokých nákladech na provoz a údržbu.

## 7.2 Mechové panely

Prvním návrhem modelu vertikálních zelených stěn bylo vytvoření nového specifického systému zelených fasád tvořených mechy a mechorosty bez integrované závlahy. Již na začátku výzkumné práce, kdy mechy ve vertikální poloze bez závlahy usychaly, bylo nutné zapojit kapkovou solární závlahu. Po zimním období, kdy i přes znovu zapojení závlahy testovací panely mechových stěn neprosperovaly a růst mechů stagnoval, bylo nutné konstatovat, že tento směr návrhu systémů vertikálních zelených stěn nebyl funkční. Mech jako vegetace pro vertikální zelené stěny v našich klimatických podmínkách, kdy hodnota vlhkosti v ovzduší, ze kterého mech primárně čerpá vláhu, je hlavně v letních měsících nízká, nebyl vhodně vybrán a mech i při integrované závlaze usychal.

I přesto je otázkou, zda se v případném dalším výzkumu nezaměřit na jiné koncepty mechových stěn. Bylo by zajímavé testovat umístění mechových stěn na různých světových stranách a na jinak konstruovaných panelech. Dalším možným směrem výzkumu by mohlo být vhodné zastínění mechových stěn před účinky letního slunce. Samostatnou kapitolou výzkumu je vhodný návrh zavlažovacích systémů pro tyto zelené stěny.

## 7.3 Panely ze stálozelených rostlin

Pro panely se stálozelenými rostlinami byly po zkušenostech z předchozího testování mechových panelů a po konzultacích s odborníky z firmy Isover v květnu 2018 vybrány jako růstové médium substrátové desky z hydrofilní minerální vlny Isover Flora a Isover Intense, které jsou převážně používány v konstrukcích vegetačních střech, kde plně nebo částečně nahrazují substrát. Desky jsou lehké a vzdušné, ale hlavně byly vybrány pro svou výbornou vodopropustnost a zároveň schopnost akumulovat při svislé poloze desek do určité výšky závlahovou vodu a pro rostliny ji udržet tak, že rostliny mohou v deskách spolehlivě vegetovat i v obdobích, kdy je odpojena kapková závlaha. Na testovacích panelech jsme při přípravě respektovali výšku vodního sloupce hydroakumulace těchto desek a jako zpomalovač odtoku závlahové vody byly mezi jednotlivé pásy desek použity pruhy PE fólie. Po osazení panelů do vertikální polohy a zavedení kapkové závlahy byly panely monitorovány v průběhu ročního cyklu.

Panely se ukázaly jako funkční varianta zelených fasád a rostlinám se v těchto panelech daří. Na testovacích panelech se prokázalo, že lze vybrané rostliny v našich klimatických podmínkách udržet životaschopné po relativně dlouhou dobu. Pro použití plošného systému vertikálních zahrad mluví také téměř neomezená možnost rozrůstání

kořenového systému rostlin, které pak lépe zvládají zimní období vegetačního klidu při odpojené závlaze a tolik nevymrzají.

V době monitorování panelů v centru AdMaS již probíhala výstavba přístavby kanceláří k objektu KVOP na ul. Údolní v Brně, na jejímž řešení jsme se podíleli, a příprava fasád na instalaci 135 m<sup>2</sup> velké plochy vertikálních zelených stěn. Osázení zelených fasád objektu KVOP bylo dokončeno v květnu 2019. Systém použitý na těchto zelených stěnách realizační firmou Květ využívá stejný princip růstového média a osazování rostlin jako námi provedené testovací panely. Monitorování testovacích panelů v centru AdMaS probíhalo do října 2019, v květnu 2020 byla na prokořeněné a zazeleněné západní fasádě KVOP osazena teplotní čidla a bylo zahájeno měření povrchových teplot fasády s vertikální zahradou a fasády bez vertikální zahrady – s předsazeným dřevěným obkladem.

## 7.4 Měření na fasádách KVOP

Stěžejní částí disertační práce je realizace vlastních měření teplotního pole na západní fasádě objektu přístavby kanceláří KVOP v lokalitě Brno - střed. Tento objekt byl vybrán jako ideální pro porovnání zkoumaných teplot na rozdílných skladbách fasády ve stejných klimatických podmínkách, na fasádách orientovaných ke stejné světové straně. Obě skladby (zelená stěna a dřevěný obklad) západní fasády byly tedy vystaveny stejným povětrnostním podmínkám. Získanými daty a jejich vyhodnocením jsou výsledné parametry teplotního pole měřené v průběhu ročního cyklu v rozmezí let 2020–2021. Podrobněji byla také vyhodnocena měření v letním a zimním období, kdy byla zaznamenána maxima a minima měřených teplot. Výsledné údaje jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 7-1: Výsledné hodnoty provedených měření

Bod měření	Medián-rok (°C)	Medián-zimní období(°C)	Medián-letní období(°C)	Teplota min. (°C)	Teplota max. (°C)
T1	9,6	1,4	18,9	-12,4	51,5
T2	10,5	3,5	20,4	-8,0	38,5
T3	6,3	2,1	19,7	-11,2	70,1
T4	10,1	2,7	20,2	-9,6	43,6
HMS	9,4	1,3	19,1	-11,9	34,8

(T1 – povrch zelené fasády, T2 – vzduchová mezera za zelenou fasádou, T3 – povrch dřevěného obkladu, T4 – vzduchová mezera za dřevěným obkladem, HMS – data naměřená na nejbližší hydrometeorologické stanici v Brně-Žabovřeskách)

Z naměřených hodnot je patrné, že jak zelená fasáda, tak fasáda bez vertikální zelené plochy reaguje na aktuální klimatické podmínky, na oslunění fasád, na orientaci ke světovým stranám. Velmi také záleží na ročním období a vegetačním cyklu rostlin a s tím

souvisejícím provozu integrované závlahy. Lze konstatovat, že nejvyšších dosažených rozdílů teplot dosahovaly měřené fasády v jarních a podzimních měsících roku, kdy docházelo k velkým výkyvům denních a nočních teplot. V těchto obdobích byly v odpoledních hodinách na fasádách naměřeny rozdíly teplot až 20 °C oproti teplotám v ranních hodinách.

Velmi příznivým poznatkem z výsledku měření je průběh teplot ve větrané vzduchové mezeře za vertikální zelenou stěnou, kde převážně v letním a zimním období byly naměřeny hodnoty s velmi malým výkyvem teplot. Z toho vyplývá, že vertikální zelená stěna je schopná stabilizovat teplotu ve vzduchové mezeře skladby této fasády a vyrovnávat tak denní špičky teplot naměřené na líci fasády. To vede k zamezení přehřívání obvodové stěny v letních měsících nebo přílišnému ochlazování obvodové stěny v měsících zimních a tedy i ke snížení energetické náročnosti budovy na vytápění či chlazení.

Při porovnání hodnot naměřených na líci obou posuzovaných fasád z výzkumu vyplývá, že výrazné teplotní rozdíly jsou na fasádách převážně v letním období, kdy je zelená fasáda plně ozeleněna a fasáda je také díky integrované závlaze výrazně chladnější. Velmi zajímavý výsledek přineslo porovnání naměřených hodnot v zimním období, kdy ve dnech s venkovní teplotou pod bodem mrazu byly naměřeny na obou fasádách téměř totožné hodnoty. Tento fakt je možno si vysvětlit skutečností, že rostliny v období vegetačního klidu zmenšují svůj objem a rostliny tak tvoří teplotní „izolant“.

O tom, že je vertikální zahrada živým organismem jsem se přesvědčila v průběhu měření, kdy se potvrdilo, že zelená fasáda poskytuje útočiště mnoha živočichům. Bylo zjištěno, že se v zelené fasádě vyskytuje množství jak létavého tak nelétavého hmyzu a že se ve fasádě zabydlela veverka a ptáci. Lze konstatovat, že se vertikální zahrady stávají útočištěm rozličných zvířat a tím přispívají k větší rozmanitosti fauny v městském prostředí. Sledování fauny na zelených fasádách je jednou z dalších možností pokračování výzkumu.

V rámci disertační práce bylo prokázáno, že v době, kdy jsou kladeny zvýšené požadavky na tepelně technický návrh budov směřující k snižování energetické náročnosti současné výstavby je nezbytné se dále touto tematikou zabývat a hledat nové možnosti ozelenování stěn nových i stávajících objektů. Je důležité uvažovat nejen v kontextu architektonického působení vertikálních zahrad, ale i z hlediska ekonomického a ekologického dopadu v rámci hledání úsporných řešení udržitelné výstavby obytných i občanských budov.



## 7.5 Možnosti dalšího pokračování a výzkumu

Tato práce přímo nabízí další možnosti prohlubování znalostí z této oblasti. Je podnětem dalšího zkoumání vlivu zelených fasád na životní prostředí a na stavby samotné, dalšího rozšiřování znalostí o tepelně-technických a akustických vlastnostech stěn se „zeleným kabátem“. Výsledky těchto zkoumání pak bude možno poměrně vhodně aplikovat ve stavební praxi i při výuce studentů.

Pro další teoretickou a experimentální práci na problematice vertikálních zelených stěn lze navrhnout následující témata výzkumu:

- z naměřených hodnot provést detailní variantní výpočty energetických ztrát pro jednotlivá roční období, porovnání jednotlivých typů fasád (zelená x nezelená) z hlediska úspory energií, provedení ekonomické rozvahy na téma náklady na zelenou fasádu versus úspora energií při vytápění a chlazení objektu
- monitorování dalších základních parametrů vertikálních zelené fasády (např. vlhkostí fasády) ovlivňující mikroklimatické podmínky exteriéru i interiéru stavby
- monitorování vertikálních zelených stěn z hlediska stavební akustiky, sledování vlivu vertikálních zelených ploch na vnitřní i vnější akustické parametry objektu.
- monitorování a vyhodnocování spotřeby vody pro uzavřený nebo otevřený zavlažovací systém zelených fasád a na základě těchto výsledků návrh optimalizovaného plně automatického zavlažovacího systému
- návrh a testování nových konstrukcí mechochů panelů, vhodné zastínění mechochů stěn před účinky letního slunce a návrh zavlažovacích systémů pro tyto zelené stěny
- detailní sledování použitých taxonů rostlin na fasádách orientovaných k různým světovým stranám v průběhu ročního měření, vyhodnocování jejich vitality a estetické funkce v průběhu jednotlivých ročních období
- sledování fauny na vertikálních zelených stěnách

## 8 Citovaná literatura

1. OLŠAN, Jiří. *Historické ohlédnutí: historie vývoje opěrných konstrukcí pro pěstování rostlin*. Praha, Společnost pro zahradní a krajinářskou tvorbu , občanské sdružení : 2011.
2. LAMBERTINI, Anna a CIAMPI, Mario. *Vertical Gardens*. Verba Volant, 2007. ISBN-13 : 978-1905216079.
3. RUBAČOVÁ, Martina. *Vertikální konstrukce s použitím interiérových rostlin*. [Online] 2008.
4. Hanging Gardens of Babylon. *Cleanart*. [Online] <http://mecleanart.blogspot.com/2016/01/hanging-gardens-of-babylon.html>.
5. Medieval village. *Yvoire*. [Online] <https://yvoire-france.com/>.
6. Restaurování secesního zábradlí, Brno. *Umělecké kovářství Deiss Juríček*. [Online] <http://kovarstvibrno.cz/portfolio/restaurovani-secesniho-zabradli-brno/>.
7. Vila Tugendhat v Brně je chráněna rovněž podle Haagských úmluv. *Národní památkový úřad*. [Online]. <https://www.npu.cz/cs/uop-brno/pro-media/41276-vila-tugendhat-v-brne-je-chranena-rovnez-podle-haagskych-umluv>.
8. Vila Stiassni: zapomenutý skvost brněnské architektury vstává z mrtvých. *iDnes*. [Online] 17. 04 2010. [https://www.idnes.cz/bydleni/architektura/vila-stiassni-zapomenuty-skvost-brnenske-architektury-vstava-z-mrtvych.A100416\\_143844\\_architektura\\_web](https://www.idnes.cz/bydleni/architektura/vila-stiassni-zapomenuty-skvost-brnenske-architektury-vstava-z-mrtvych.A100416_143844_architektura_web).
9. PEJCHAL, Miloš. *Rostliny pro vertikální zahrady ve venkovním prostoru*. Praha : Zelené fasády-jednodenní odborný seminář, 2011.
10. Zelená clona z popínavých rostlin ochrání soukromí v domě i na terase. *nazeleno.cz*. [Online] 22. 08 2014. <https://www.nazeleno.cz/dum-a-zahrada/zelena-clona-z-popinavych-rostlin-ochrani-soukromi-v-dome-i-na-terase.aspx>.
11. CaixaForum en Madrid. *MuseosEnMadrid.com*. [Online] <https://www.museosenmadrid.com/caixaforum.html>.
12. BURIAN, Samuel a ONDŘEJ, Jan. *Oživená architektura*. Praha : FAJMA, 1992. ISBN 80-85374-10-2.
13. ŠÁLA, Jiří a MACHATKA, Milan. *Tepelně technické vady a poruchy panelových budov a jejich sanace*. Praha : Technologické centrum Akademie věd, 2002. 80-902689-7-8.
14. Potíže s omítkou. *Popínavé-Rostliny.cz*. [Online] <https://popinave-rostliny.webnode.cz/potize-s-omitkou/>.

15. Révové nádvoří. *Foursquare*. [Online]  
<https://foursquare.com/v/r%C3%A9vov%C3%A9n%C3%A1dvo%C5%99%C3%AD/4dc2aeda18506ca691c9892f>.
16. Müllerova vila - místo, kde se setkává funkcionalismus s anglickým stylem. *Novinky.cz*. [Online] 30. 11 2010. <https://www.novinky.cz/bydleni/reality-a-finance/clanek/mullerova-vila-misto-kde-se-setkava-funcionalismus-s-anglickym-stylem-69077>.
17. Ozelenění fasád Greencable - originální řešení pro vášdům. *Carl Stahl Architektura*. [Online] <http://www.carlstahl-architektura.cz/ozeleneni-fasad-greencable.htm>.
18. Flickr.com. *Biowall Diagram*. [Online] 30. 06 2005.  
<https://www.flickr.com/photos/31652869@N00/278502906>.
19. Edmonton Airport Unveils Massive Air-Cleaning Living Green Wall! *Inhabitat*. [Online] 13. 08 2014. <https://inhabitat.com/edmonton-airports-beautiful-new-living-green-wall-works-to-clean-the-air/>.
20. Pershing Hall Hotel Paris. *Vertical Garden Patrick Blanc*. [Online] 2001.  
<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/node/1386>.
21. Patric Blanc-vertical gardens. *Inexhibit*. [Online] 2. 11 2019.  
<https://www.inexhibit.com/case-studies/patrick-blanc-vertical-gardens/>.
22. Tower Flower. *archiweb*. [Online] <https://www.archiweb.cz/b/tower-flower>.
23. Vertical Forest. *Stefano Boeri Architetti*. [Online]  
<https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/>.
24. Pro Wall® Design. *Gsky*. [Online] <https://gsky.com/pro/design/>.
25. Zelené stěny Biotile. *Živé stavby.cz*. [Online]  
[https://www.zivestavby.cz/files/2021/05/zive\\_steny\\_biotile\\_cz\\_compressed.pdf](https://www.zivestavby.cz/files/2021/05/zive_steny_biotile_cz_compressed.pdf).
26. Find Water-Efficient Exterior Green Walls At Low Costs. *Gsky*. [Online]  
<https://gsky.com/exterior-walls/>.
27. MA 48. *Grun Statt Grau*. [Online] <https://gruenstattgrau.at/projekt/ma-48/>.
28. Vertical garden Patric Blanc. *Jupiter, Sainte Genevieve des Bois*. [Online]  
<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/jupiter-sainte-genevieve-des-bois>.
29. Střešní zeleň na strmé šikmé ploše jako přírodní prostor ve městě. *tzbinfo*. [Online] 06. 08 2011. <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/7708-stresni-zelen-na-strme-sikme-plose-jako-prirodni-prostor-ve-meste>.
30. AFI Karlin Butterfly. *archiweb*. [Online] <https://www.archiweb.cz/b/afi-karlin-butterfly>.
31. Zelené stěny. *Archvegetal*. [Online] <https://www.archvegetal.cz/zelena-stena/>.

32. Živé stavby. [Online] Liko-S. <https://www.zivestavby.cz/>.
33. Zelené střechy a vertikální zahrady. *Květ - zahradní architektura*. [Online] <https://www.vrbas.cz/realizace-zelene/zelene-strachy-a-vertikalni-zahrady>.
34. *Vegetační střechy - Hydrofilní minerální vlna*. Gobain, Saint. 2017.
35. *Katalog-rostlin.cz*. [Online] <http://www.katalog-rostlin.cz/>.
36. CHOVANČÍKOVÁ, Kateřina. Thesis.cz. *Vertikální zahrady ve venkovním prostoru*. [Online] 2020.
37. PIKOVÁ, Helena. Zelené fasády. *Zahradnictví*. [Online] 20. 6 2012. [www.zahradaweb.cz](http://www.zahradaweb.cz).
38. TURNER, Tom. *Garden History-Reference Encyclopedia*. 2014. ISBN 0-9542306-0-4.



## 9 Seznam použitých podkladů

Neindexované obrázky, grafy a tabulky – zdroj: autorka práce

### 9.1 Seznam obrázků

Obr. 2-1: Pěstování vinné révy v Egyptě cca 1400 l.p.n.l., hrobka úředníka Nakhta [1]	14
Obr. 2-2: Sallustův dům v Pompejích [1] .....	14
Obr. 2-3: Asyrský král oslavuje vítězství pod loubím z vinné révy, Irák, 640 př.n.l. [1] .....	14
Obr. 2-4: Visuté zahrady Semiramidiny v Babylonu [4] .....	15
Obr. 2-5: Středověká zahrada [5] .....	15
Obr. 2-6: Secesní vila Veveří 14, Brno [6] .....	16
Obr. 2-7: Popínavé rostliny na fasádě vily Tugendhat [7] .....	16
Obr. 2-8: Rostlinné motivy na zábradlí objektu na Veveří 14, Brno [6] .....	16
Obr. 2-9: Fasáda vily Stiassni, Brno [8] .....	16
Obr. 2-10: Systémy pro ozeleňování stěn [9] .....	17
Obr. 2-11: Použití pnoucích rostlin (Japonsko) [10] .....	17
Obr. 2-12: Použití vertikálních zahrad - Caixa Forum Madrid (2008) [11] .....	17
Obr. 2-13: Fasáda objektu pokrytá stálozeleným břečťanem .....	19
Obr. 2-14: Příčepivé kořeny břečťanu .....	19
Obr. 2-15: Břečťan popínavý ( <i>Hedera helix</i> ) .....	19
Obr. 2-16: Trubač kořenující ( <i>Campsis radicans</i> ) .....	19
Obr. 2-17: Hortenzie ( <i>Hydrangea petiolaris</i> ) .....	19
Obr. 2-18: Zarůstání kořenů pod zatepl.system [13] .....	19
Obr. 2-19: Prorůstání kořenů pod střechu [13] .....	19
Obr. 2-20: Objekt porostlý přísavníkem .....	20
Obr. 2-21: Lepivé adhezivní terčíky .....	20
Obr. 2-22: Přísavník trojcípý ( <i>Parthenocissus tricuspidata</i> ) .....	20
Obr. 2-23: Přísavník pětistý ( <i>Parthenocissus quinquefoli</i> ) .....	20
Obr. 2-24: Přísavník v období vegetačního klidu [14] .....	20
Obr. 2-25: Suché terčíky na fasádě po odtržení .....	20
Obr. 2-26: Révové nádvoří Klementina před rekonstrukcí (2012) [15] .....	21
Obr. 2-27: Révové nádvoří Klementina před rekonstrukcí (2013) [15] .....	21
Obr. 2-28: Révové nádvoří po rekonstrukci (2016) [15] .....	21

Obr. 2-29: Mullerova vila v Praze [16].....	21
Obr. 2-30: Plamének velkokvětý ( <i>Clematis x hybrida</i> ) .....	22
Obr. 2-31: Réva vinná ( <i>Vitis vinifera</i> ).....	22
Obr. 2-32: Úponky pnoucích rostlin .....	22
Obr. 2-33: Vedení rostlin pomocí lankového systému .....	22
Obr. 2-34: Ocelová síť [17] .....	22
Obr. 2-35: Lankový systém [17].....	22
Obr. 2-36: Lankový systém – detail [17].....	22
Obr. 2-37: Fasáda objektu porostlá vistirii na treláži .....	23
Obr. 2-38: Ovíjivé dřeviny-systém pnutí .....	23
Obr. 2-39: Wistarie čínská ( <i>Wisteria sinensis</i> ) .....	23
Obr. 2-40: Podražec velkolistý ( <i>Aristolochia macrophylla</i> ).....	23
Obr. 2-41: Zimolez Tellmanův ( <i>Lonicera tellmanniana</i> ).....	23
Obr. 2-42: Popínavá růže na treláži [14].....	24
Obr. 2-43: Popínavá růže ( <i>Rosa multiflora, odorata, agrestis</i> ) .....	24
Obr. 2-44: Ostružiník beztrnný ( <i>Rubus fruticosus</i> ) .....	24
Obr. 2-45: Podpory pro vzpěrné rostliny .....	24
Obr. 2-46: Treláž.....	24
Obr. 2-47: Prostorová konstrukce pro popínavé rostliny.....	24
Obr. 2-48: Prostorová konstrukce f. Carl Stahl [17].....	24
Obr. 2-49: Schéma fungování stěny Biowall [18] .....	25
Obr. 2-50: Biowall – Mezin. letiště v Edmontnu-Kanada (8.000 ks rostlin=32 druhů) [19] .....	25
Obr. 2-51: Vertikální zelená stěna hotelu Pershing Hall v Paříži (2001) [20].....	26
Obr. 2-52: Zelená fasáda Musée du Quai Branly v Paříži (2005 [21]).....	26
Obr. 2-53: Oasis of Aboukir v Paříži – na 25 m <sup>2</sup> stěny roste 7600 rostlin, 237 různých druhů [21] .....	26
Obr. 2-54: Bytový dům v Turíně, Itálie (2014) .....	27
Obr. 2-55: Pohled na fasádu s nádobami na rostliny .....	27
Obr. 2-56: Závlna integrovaná do zábradlí balkonů [22].....	28
Obr. 2-57: Pohled ze severovýchodní strany [22] .....	28
Obr. 2-58: detail řešení pěstebních nádob [22].....	28
Obr. 2-59: Dvě věže Vertical Forest v Miláně(2009-2014) [23].....	28

Obr. 2-60: Pěstební nádoby umístěné na balkonech a řešení následné údržby zeleně [23] .....	28
Obr. 2-61: Kazetový systém PRO WALL firmy GSky Plant Systems Inc. [24].....	29
Obr. 2-62: Zavěšování kazet systému PRO WALL na nosnou hliníkovou konstrukci [24] .....	29
Obr. 2-63: V každé kazetě je každých 5 cm umístěn výpustek kapkové závlahy pro rovnoměrnou distribuci vody a živin [24].....	30
Obr. 2-64: Řez systémem PRO WALL [24].....	30
Obr. 2-65: Řez systémem Optigrün .....	30
Obr. 2-66: Stabilní hliníkový sendvičový panel vyplněný substrátem s osazenými umělohmotnými hrnkami pro osazení rostlin.....	30
Obr. 2-67: Parlament Eupen, Německo, 2013 .....	30
Obr. 2-68: Duben – čerstvě osázená fasáda .....	31
Obr. 2-69: Květen – cca 6 týdnů později, 50% ozelenění .....	31
Obr. 2-70: Červenec – fasáda je plně ozeleněná.....	31
Obr. 2-71: Říjen –vegetace ukazuje podzimní aspekt .....	31
Obr. 2-72: Modulární systém vegetačních panelů s hydrofilní minerální vlnou BioTile [25] .....	31
Obr. 2-73: Exteriérová živá stěna bytového domupomocí modulů BioTile, Velká Británie, 2018 [25] .....	31
Obr. 2-74: Skládání modulů dle tvaru fasády [25] .....	31
Obr. 2-75: Systém Versa Wall XT f. GSky Plant Systems Inc [26].....	32
Obr. 2-76: Fasáda Vancouver International Airport, 2009 [26] .....	32
Obr. 2-77: Budova MA 48, Vídeň, 2011 [27] .....	32
Obr. 2-78: MA 48 – experimentální fasáda Univerzity BOKU [27] .....	32
Obr. 2-79: Detail žlabového systému na budově MA 48 [27].....	32
Obr. 2-80: Betonové panely v botanické zahradě Delft University of Technology [12]	33
Obr. 2-81: Quai Branly Jacques Chirac museum, Paris, 2004, 13 let po osázení [28]...	34
Obr. 2-82: Museum of Contemporary Art, Busan, Jižní Korea, 2018 [28] .....	34
Obr. 2-83: Skladba zelené stěny Patricka Blanca [2] .....	35
Obr. 2-84: Schéma fungování hydroponického systému [28] .....	35
Obr. 2-85: Ozeleněné zavěšené sloupy v exteriéru Pérez Art Museum, Miami, 2013 [28] .....	36

Obr. 2-86: Rain Forest Chandelier by Patrick Blanc, EmQuartier, Bangkok, 2015 [28]	36
Obr. 2-87: Zazeleněná fasáda One Central Park, Sydney, 2014 - rok po osázení [28] ...	37
Obr. 2-88: Dokumentace fasád ateliéru Jean Nouvel z roku 2009 [28] .....	37
Obr. 2-89: Návrh osázení plošných panelů Patrica Blanca z roku 2013 [28].....	37
Obr. 2-90: Strmá střecha centra Nový Smíchov, Praha [29] .....	38
Obr. 2-91: Stav před realizací zelené fasády .....	38
Obr. 2-92: Plně prokořeněný panel [29] .....	38
Obr. 2-93: Experimentální fasáda showroomu f. Němec v Praze.....	39
Obr. 2-94: Detail fasády v letním období .....	39
Obr. 2-95: Administrativní budova AFI Karlín Butterfly v Praze, 2018 [30] .....	39
Obr. 2-96: Detail zelené fasády f. Němec [30] .....	39
Obr. 2-97: Funkční schéma zelené stěny f. ArchVegetal [31].....	40
Obr. 2-98: Kancelářská budova Jindřišská, Praha (5000 živých rostlin), (2014) [31] ...	40
Obr. 2-99: Kryté atrium polikliniky Medispol, Brno-Žabovřesky (2016) [31] .....	40
Obr. 2-100: Intenzivní zelená fasáda prvního 3D tištěného domu Prvok v České republice, 2020 [31] .....	40
Obr. 2-101: Kancelářská budova Liko-Noe, f. Liko-S, Slavkov u Brna, 2015 [32].....	41
Obr. 2-102 Liko-Noe - Detail mokřadní fasády z nerezových kazet a detail fasády ze závěsných košů vyplněných substrátem [32] .....	41
Obr. 2-103: Průmyslová hala Liko Vo, Slavkov u Brna, 2019 [32] .....	41
Obr. 2-104: Mokřadní fasáda na Liko-Vo [32].....	41
Obr. 2-105: Vertikální zahrada v atriu objektu na Zelném trhu [33].....	42
Obr. 2-106: V zastíněné spodní části fasády se po instalaci dodatečného osvětlení dobře daří zejména kapradinám. [33].....	42
Obr. 5-1: Příprava testovacích panelů v dílnách ÚPST, zdroj: autor .....	46
Obr. 5-2: Růstové médium-agrovata Isover Flora .....	46
Obr. 5-3: Růstové médium-plst' s .....	46
Obr. 5-4: růstové médium-rašelina s hydrogelem .....	46
Obr. 5-5: Hotový mechový panel .....	47
Obr. 5-6: Panely na testovací ploše centra AdMaS .....	47
Obr. 5-7: Neprosperující panely bez integrované závlahy .....	47
Obr. 5-8: Potrhaný panel působením hydrogelu .....	47



Obr. 5-9: Mechové panely instalované na testovacím objektu v Centru AdMaS, 09/2017 .....	48
Obr. 5-10: Růst mechu pouze ve spodních částech zavlažovaných panelů.....	48
Obr. 5-11: Sesedání a schnutí panelů 04/2018 .....	48
Obr. 5-12: Konec experimentu 08/2018 .....	48
Obr. 5-13: Hydraulický profil hydrofilních desek [34] .....	49
Obr. 5-14: Hydroakumulace desek v závislosti na sklonu [34].....	49
Obr. 5-15: Panel s hydrofilní vlnou s předchystanými otvory pro rostliny .....	50
Obr. 5-16: Panel vyplněný substrátem pro výsadbu rostlin.....	50
Obr. 5-17: Panel překrytý geotextilií .....	51
Obr. 5-18: Osázený panel .....	51
Obr. 5-19: Zakořenění rostlin ve vodorovné poloze – červenec-září 2018 .....	51
Obr. 5-20: Instalace panelů do svislé polohy.....	51
Obr. 5-21: Připojení kapkové solární závlahy k testovacím panelům, 09/2018.....	51
Obr. 5-22: Říjen 2018-závlaha.....	52
Obr. 5-23: Listopad 2018 - závlaha .....	52
Obr. 5-24: Prosinec 2018 – bez závlahy .....	52
Obr. 5-25: Leden 2018.....	52
Obr. 5-26: Únor 2019.....	52
Obr. 5-27: Březen 2019 .....	52
Obr. 5-28: Duben 2019 .....	53
Obr. 5-29: Květen 2019- obnovena závlaha .....	53
Obr. 5-30: Červen 2019 .....	53
Obr. 5-31: Červenec 2019.....	53
Obr. 5-32: Srpen 2019 .....	53
Obr. 5-33: Září/říjen 2019 – demontáž panelů .....	53
Obr. 5-34: Přístavba kanceláří k objektu KVOP, Brno .....	56
Obr. 5-35: Umístění objektu přístavby kanceláří, ul Údolní, Brno, zdroj: mapy.cz.....	56
Obr. 5-36: Řešení západní fasády – napojení dřevěného obkladu a zelené fasády - půdorys .....	57
Obr. 5-37: Detail napojení dřevěné a zelené fasády na západní straně objektu .....	58
Obr. 5-38: Pohled na původní návrh východní fasády, zdroj: autor.....	59

Obr. 5-39: Severní fasáda přístavby, vstup do hlavní budovy Kanceláří Veřejného ochránce práv, zdroj: autor .....	59
Obr. 5-40: Západní fasáda přístavby, zdroj: autor Obr. 5-41: Pohled na dřevěný obklad jižní fasády, zdroj autor .....	59
Obr. 5-42: Logo Kanceláře veřejného ochránce práv .....	60
Obr. 5-43: Detail severní fasády přístavby inspirovaný logem Veřejného ochránce práv, zdroj:autor .....	60
Obr. 5-44: Osázená fasáda dle studie z roku 2015 .....	60
Obr. 5-45: Západní fasáda objektu osázená trvalkami a dřevinami .....	60
Obr. 5-46: Listopad 2018 - montáž PP desek na hliníkový rošt a přelepení spojů.....	63
Obr. 5-47: Listopad 2018 - Provedení první vrstvy geotextilie .....	63
Obr. 5-48: Prosinec 2018 - Uchycení růstového média a druhá vrstva geotextilie .....	63
Obr. 5-49: Prosinec 2018 – Předkreslení pozice pruhů rostlin pro vytvoření loga .....	63
Obr. 5-50: Březen 2019 – Fasáda připravená k osázení .....	64
Obr. 5-51: 15/5/2019 – Od konce dubna probíhalo osazování fasády rostlinami .....	64
Obr. 5-52: 15/5/2019 – Detail osázení severní fasády .....	64
Obr. 5-53: 15/5/2019 - Detail osázení severní fasády .....	64
Obr. 5-54: 27/5/2019 -Plně osázená fasáda .....	65
Obr. 5-55: 28/6/2019 – Zazeleněná fasáda .....	65
Obr. 5-56: 24/7/2019 – Detail vegetace západní fasády .....	65
Obr. 5-57: 26/8/2019 - Plně zazeleněná západní fasáda.....	65
Obr. 5-58: 10/9/2019. – Detail rohového okna .....	66
Obr. 5-59: 5/10/2019 – Zelená fasáda 4 měsíce po osázení .....	66
Obr. 5-60: Duben 2020 – severní fasáda .....	66
Obr. 5-61: Květen 2020 – rok po osázení .....	66
Obr. 5-62: Prosinec 2020 – bez závlahy .....	67
Obr. 5-63: Březen 2021 – bez závlahy .....	67
Obr. 5-64: Duben 2021 – vymrznutí spodní části zelené fasády .....	67
Obr. 5-65: Duben 2021 – příliné zakrácení rostlin při údržbě vedlo k jejich úhynu .....	67
Obr. 5-66: Červen 2021 – zelená fasáda dva roky po osázení.....	68
Obr. 5-67: Červenec 2021- západní fasáda.....	68
Obr. 5-68: Uzavřený zavlažovací systém umístěný v suterénu KVOP [36] .....	69
Obr. 5-69: Řídící jednotka závlahového systému zelené fasády KVOP [36].....	69

Obr. 5-70: Zakreslení polohy měřících bodů, zdroj: autor .....	70
Obr. 5-71: Půdorys 1.np objektu kanceláři a navazující zpevněné plochy a objekty ....	70
Obr. 5-72: U0141 záznamník teploty čtyřkanálový; 4x vstup Pt1000 .....	72
Obr. 5-73: COMET sonda teploty Pt1000TG7/E - 5m, konektor ELKA.....	72

## 9.2 Seznam tabulek

Tab. 2-1: Rozdíly mezi pnoucími dřevinami a vertikálními zahradami [9] .....	17
Tab. 5-1: Hydroakumulační schopnosti materiálů používaných pro vegetační střechy a stěny [36].....	49
Tab. 5-2: Doporučené vzdálenosti mezi zpomalovači [36] .....	50
Tab. 5-3: Seznam taxonů použitých rostlin a jejich popis dle [37] .....	54
Tab. 5-4: Kompletní údaje o objektu přístavby KVOP .....	61
Tab. 5-5: Popis měřících bodů.....	71
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T1 .....	75
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T1 v zimním období .....	77
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T1 v letním období .....	78
Tab. 6-2: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T2.....	80
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T2 v zimním období .....	82
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T2 v letním období .....	83
Tab. 6-3: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T3.....	87
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T3 v zimním období .....	89
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T1 .....	90
Tab. 6-4: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T4.....	92
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T4.....	94
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T4 v letním období .....	95
Tab. 6-5: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod HS .....	104
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T1 .....	106
Tab. 6-1: Rozdělení absolutní četnosti $n_j$ pro měřící bod T1 .....	107
Tab. 6-6: Tabulka nejnižších naměřených teplot v jednotlivých bodech .....	109
Tab. 6-7: Tabulka nejvyšších naměřených teplot v jednotlivých bodech.....	109
Tab. 6-5: Výsledné hodnoty provedených měření.....	118

## 9.3 Seznam grafů

Graf 6-1: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T1 v průběhu ročního cyklu ....	76
Graf 6-2: Průběh teploty v měřícím bodě T1 po celou dobu měření.....	76
Graf 6-3: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T1 v zimním období .....	77
Graf 6-4: Průběh teploty v měřícím bodě T1 v zimním období .....	78
Graf 6-5: Histogram rozdělení četnosti pro měřící bod T1 v letním období .....	79
Graf 6-6: Průběh teploty v měřícím bodě T1 v letním období .....	79

Graf 6-7: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T2 v průběhu ročního cyklu ....	81
Graf 6-8: Průběh teploty v měřicím bodě T2 po celou dobu měření .....	81
Graf 6-9: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T2 v zimním období: .....	82
Graf 6-10: Průběh teploty v měřicím bodě T2 v zimním období .....	83
Graf 6-11: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T2 v letním období .....	84
Graf 6-12: Průběh teploty v měřicím bodě T2 v letním období .....	84
Graf 6-13: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T1 a T2 v průběhu celého měření .....	85
Graf 6-14: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T1 a T2 v zimním období .....	86
Graf 6-15: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T1 a T2 v letním období .....	86
Graf 6-16: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T3 v průběhu ročního cyklu ..	88
Graf 6-17: Průběh teploty v měřicím bodě T3 po celou dobu měření .....	88
Graf 6-18: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T3 v zimním období: .....	89
Graf 6-19: Průběh teploty v měřicím bodě T3 v zimním období .....	90
Graf 6-20: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T3 v letním období .....	91
Graf 6-21: Průběh teploty v měřicím bodě T3 v letním období .....	91
Graf 6-22: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T4 v průběhu ročního cyklu ..	93
Graf 6-23: Průběh teploty v měřicím bodě T4 po celou dobu měření .....	93
Graf 6-24: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T4 v zimním období .....	94
Graf 6-25: Průběh teploty v měřicím bodě T4 v zimním období .....	95
Graf 6-26: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod T4 v letním období .....	96
Graf 6-27: Průběh teploty v měřicím bodě T4 v letním období .....	96
Graf 6-28: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T3 a T4 v zimním období .....	97
Graf 6-29: Porovnání průběhu teplot v měřicích bodech T3 a T4 v letním období .....	97
Graf 6-30: Porovnání průběhu teplot na líci obou fasád v zimním období .....	98
Graf 6-31: Porovnání průběhu teplot ve vzduchových mezerách obou fasád v zimním období .....	99
Graf 6-32: Porovnání průběhu teplot na líci obou fasád v letním období .....	100
Graf 6-33: Porovnání průběhu teplot ve vzduchových mezerách obou fasád v letním období .....	101
Graf 6-34: Porovnání průběhu teplot ve všech měřených bodech v zimním období ...	102
Graf 6-35 : Porovnání průběhu teplot ve ve všech měřených bodech v letním období	103
Graf 6-36: Histogram rozdělení četnosti pro měřicí bod HS v průběhu ročního cyklu	105
Graf 6-37: Průběh teploty v měřicím bodě HMS po celou dobu měření .....	105
Graf 6-38: Histogram rozdělení četnosti teplot pro měřicí bod HMS v zimním období .....	106
Graf 6-39: Průběh teploty v měřicím bodě HMS v zimním období .....	107
Graf 6-40: Histogram rozdělení četnosti teplot pro bod HMS v letním období .....	108
Graf 6-41: Průběh teploty v měřicím bodě HMS v letním období .....	108
Graf 6-42: Naměřená minima teplot v jednotlivých bodech v průběhu února 2021 ....	110
Graf 6-43: Naměřená maxima teplot v jednotlivých bodech v průběhu července 2020 .....	111



Graf 6-44: Průběh teplot během 1. dne astronomického léta 21. 6. 2020 (letní slunovrat)	112
Graf 6-45: Průběh teplot během 1. dne astronomického podzimu 22. 9. 2020 (podzimní rovnodennost)	113
Graf 6-46: Průběh teplot během 1. dne astronomické zimy 21. 12. 2020 (zimní slunovrat)	114
Graf 6-47: Průběh teplot během 1. dne astronomického jara 20. 3. 2021 (jarní rovnodennost)	115