



SZENDVICSPANEL ELÉ RÖGZÍTETT ZÖLDHOMLOKZATI RENDSZEREK HŐTECHNIKAI HATÁSAINAK MÉRÉSE

Készítette: Vágner Bernadett

Konzulens: Baráth Géza
Dr. Juhász Péter
Dr. Magyar Zoltán
Tamási Alexandra

Tudományos Diákköri Konferencia 2015.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építészmérnöki Kar
Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

ABSZTRAKT:

SZENDVICSPANEL ELÉ RÖGZÍTETT ZÖLDHOMLOKZATI RENDSZEREK HŐTECHNIKAI HATÁSAINAK MÉRÉSE

A fenntarthatóság építőiparba integrálására napjainkban egyre nagyobb szükség van, ennek egyik eszköze lehet épületeinkre zöldhomlokzat telepítése. A dolgozat célja egy mérési rendszer megtervezése és kiépítése egy kísérleti zöldhomlokzat fizikai hatásainak mérésére, mely segítségével a zöldfalak pozitív hőtechnikai hatásait konkrét számszerű adatokkal támaszthatom alá.

A megfelelő mérési rendszer megtervezéséhez tanulmányoztam az utóbbi években kísérleti zöldhomlokzatok vizsgálatáról publikált cikkeket, és ezek alapján terveztem meg a szükséges mérési paramétereket (hőmérséklet, a páratartalom, a beeső- és felületi sugárzások, a levegőmozgások mérése) és pontokat. Elemeztem a piacon fellelhető mérési technikákat és eszközöket, és a legalkalmasabb eszközöket kiválasztva terveztem meg egy szendvicspanel elé rögzített zöldhomlokzati kialakítást tartalmazó kísérleti fal mérési rendszerét. A rendszer kiépítése, majd tesztelése és a hosszabb távon való mérés segít megbecsülni a falszerkezetek hőtechnikai viselkedésében megmutató változást.

KULCSSZAVAK:

zöldhomlokzat, mérési rendszer, hőtechnikai vizsgálat

ABSTRACT:

ANALYSIS OF THERMAL EFFECTS OF GREEN FACADES MOUNTED ON SANDWICH PANELS

Nowadays the integration of the sustainability becomes more and more important for the building industry, the green facade solutions can be a suitable tool for it. The purpose of this thesis is planning and building a measurement system to measure the physical effects of an experimental green facade, which can help to demonstrate the positive thermophysical effects of the green walls by numerical data.

The experimental green facade investigations which were published in the recent years were studied, and based on these the necessary measurement parameters (temperature, humidity, incoming and surface radiation, and wind) and points were defined. After examining the various measuring tools and techniques the most appropriate tools were selected and the measurement system for an experimental green wall facade was planned. The system has been built and tested, and the collected data in longer term will help to estimate the change in the thermal behaviour of these wall structures.

KEYWORDS:

green facade, measurement system, analysis of thermophysical effects

Tartalomjegyzék:

1. Bevezetés.....	3.
1.1. A téma bemutatása, aktualitása, fontossága	3.
1.2. Fogalmak, szerkezeti megoldások	3.
1.2.1. Zöldfalak előnyei	3.
1.2.2. A zöldhomlokzatok szerkezeti megoldásai.....	6.
1.2.3. A zöldhomlokzatok növényfajai	10.
1.3. Feladat megfogalmazása.....	12.
2. Elméleti előkészítés.....	13.
2.1. Tudományos környezet, a szakirodalom vizsgálata.....	13.
2.2. A kutatás lehatárolása.....	17.
3. Mérési lehetőségek leírása	18.
3.1. Analóg mérők.....	18.
3.1.1. Hőmérséklet – Hőmérők, hőárammérők	18.
3.1.2. Páratartalom – A levegő nedvességtartalmának mérése.....	21.
3.1.3. Párolgás – Párolgás mérése	22.
3.1.4. Szél – Szél meghatározása.....	23.
3.1.5. Sugárzásmérő műszerek – Rövid- és hosszuhullámú sugárzások mérése	25.
3.2. Kompakt adatgyűjtők	27.
3.3. Egyedileg épített adatgyűjtő rendszerek.....	28.
3.4. Meteorológiai állomások.....	30.
3.4.1. Az automata állomások csoportosítása.....	30.
3.4.2. Az automata meteorológiai állomás hardver részei.....	30.
3.4.3. Az automata meteorológiai állomás szoftver részei	31.
3.4.4. Többféle meteorológiai állomás létezik	33.
4. Mérőrendszer építése, tesztelése.....	34.
4.1. Rendszer ismertetése, építés menete.....	34.
4.2. A nem várt jelenségek – kockázatok kiemelése	37.
4.3. Eredmények: egy teljes nap mérési adatai.....	38.
5. A tervezett mérési helyszín – mintafal bemutatása.....	39.
5.1. A mintafal bemutatása – építés és szerkezet ismertetése	39.
5.1.1. Adatok.....	39.
5.1.2. Működés	39.
5.1.3. Szerkezet.....	39.
5.1.4. Növényalkalmazás.....	40.
5.1.5. Öntöző- és drain rendszer.....	41.
5.2. Mérési pontok meghatározása.....	41.
6. Következtetések, javaslatok.....	42.
6.1. Összegzés	42.
6.2. Tudományos kutatási javaslatok	42.
Köszönetnyilvánítás	43.
Irodalomjegyzék.....	44.
Függelék	

1. Bevezetés

1.1. A téma bemutatása, aktualitása, fontossága

Az 1980-as évek óta Európában erősen megnövekedett a környezeti kérdések iránti érdeklődés. Míg eleinte csupán néhány „zöld” aktivista figyelmeztetett a légszennyezésre, a nem megújuló energiaforrások kiapadására, úgy napjainkban többé-kevésbé mindnyájunk magatartása megváltozott. A fenntarthatóság fogalma számos hétköznapi területen központba került, a környezetvédelem szükségessége ma már nem megkérdőjelezhető. Ennek ellenére olyan fogalmakkal, mint szmog, üvegházhatás, ózonlyuk, kipusztuló állatfajok, naponta találkozunk.

Ezekre a globális problémákra tekintettel kell a fenntarthatóság fogalmát az építőiparba integrálnunk. Szükséges foglalkoznunk az egyes homlokzatok és tetők zöldesítésével, hiszen a globális probléma kiindulópontját mindig lokális területen kell keresnünk. Számunkra pedig ez a lokális terület a város, ahol élünk.

Napjainkban a világ technikai fejlettsége olyan szintre jutott, hogy civilizációs vívmányokkal zsúfolt, hatalmas városainkban az élet egyre nyomasztóbb lett. A város technikai rendszerének enyhülnie kell: forgalommentes övezetek, zajvédelem, sugárvédelem stb. Szükségünk van – már amennyire lehetséges – növényekre a városban, melyek oxigént termelnek és a természetes klimatizáláshoz a sejtjeikben lévő vizet párologtatják. Mivel a már meglévő városi beépítettség nagymértékben változtatni nem lehet, megoldást kínálhatnak a zöldtetők és zöldfalak – „növényhordozó” homlokzatok.

A zöldhomlokzat nem új találmány, hisz már az i.sz. I. századból vannak írásos adataink „felöltöztetett házfalokról”, ettől kezdve többé-kevésbé folyamatosak a futónövények alkalmazására utaló jelek, a XX. század elejétől már a bérházak falain is megjelentek a növények, gyakran alkalmazták az ún. kordonfákat. Ekkor ismerték fel az építészek is a futónövények nyújtotta díszítési lehetőségeket, elterjedt a háromkaréjú (japán) vadszőlő (*Parthenocissus tricuspidata*) alkalmazása.

A zöldhomlokzatok napjainkban történő elterjedésében fontos szerepet játszott a francia botanikai szakember, Patrick Blanc¹. Blanc egy őserdőben figyelte meg, miként élnek növények a talajtól meglehetősen nagy távolságban is, nagyobb fák törzsére kapaszkodva. Ez adta az ötletet, hogy növényeket telepítsen épületek falára. Amíg Patrick Blanc növényfalai az esztétikumról szólnak, egyre-másra jelennek meg tanulmányok, kísérleti beültetések, amelyek a növények kedvező épületfizikai hatásait mutatják be.

1.2. Fogalmak, szerkezeti megoldások

A zöldfal egy vertikális kert, amit sűrű növénytakaró borít, sokféle megjelenési és kiültetési formája létezik, de mindegyik közös jellemzője, hogy függőleges növényfalat alkot. Zöldhomlokzatnak nevezhető valamennyi épület vagy építmény olyan térelhatároló szerkezete, melyhez növényzet kapcsolódik. Lehet nyírt, futtatott vagy ültetett, megjelenhet falakon, épületek homlokzatán, térelválasztó növényfalként, reprezentatív belső terek díszeként.

1.2.1. Zöldfalak előnyei:

a. Ökológiai előnyök:

A városok hőmérsékletének csökkentése

Az urbánus területeken gyakori burkolatok, mint a beton és az aszfalt, nagymértékben hozzájárulnak a városi hősziget kialakulásának problémájához. Ezek az anyagok a napsugárzás nagy részét magába

¹ 1953-ban született és a '70-es évekre esik a találkozási pontja a thaiföldi esőerdőkkel. A '80-as években már kísérletezett zöld falak építésével. Az első jelentősebb vertikális fala 1994-ben épült Chaumont-sur-Loire-ben. Ismertebb munkái: 2001. Pershing Hall Hotel, Párizs; 2005. Musée du Quai Branly, Párizs; 2010. J&T Bank, Kassa.

szívják, és infravörös hőszugárzásként visszaverik azt. A napnyugta után is kibocsátott hő egy melegebb mikroklímát hoz létre a városok felett. A légmozgást a városokban sokszor gátolja a kedvezőtlen vertikális szerkezet, ennek eredményeként a keletkezett hő megragad a város területén. Ez nemcsak azért baj, mert az amúgy is forró napokon a városokban még melegebb van, hanem azért is, mert a hőmérséklet emelkedésével az épületek hűtési energiaszükséglete mellett a levegő ózontartalma is radikálisan megnő – ami pedig igen erős mérég.

A növényzet hőmérsékletcsökkentő hatását a felfogott csapadék elpárologtatása adja, hiszen a növényzet a napsugárzásból felvett energia 70%-át a párologtatásra, és ezáltal hűtésre használja fel.²

Hőszigetelő hatás

Nemcsak a meleg, de a hideg ellen is védhetnek a növények.

Feltételezhetjük, hogy télen az örökzöld növényzet alatt a fal felületi hőmérséklete nagyobb, mint a növény nélkülié – ez más homlokzatburkolatok esetén is hasonlóan működik. Szigetelő hatásuknak köszönhetően a zöldhomlokzatok a fűtési költségeket csökkenthetik.

Mivel a fal nedvességtartalmát elsősorban az esőterhelés határozza meg, a teljesen kifejlődött levélzetű befuttatott falak szárazabbak, mint a növényzet nélküliek.³ A szárazabb falaknak kisebb a hővezető képességük, következésképp jobb a hőszigetelésük.

A víz körforgásának kedvező befolyásolása a városokban

Az esővíz majdnem egészében elfolyik a csatornában ahelyett, hogy elpárologna és párássá válna a levegőt. A zöldhomlokzatok és zöldtetők egyaránt tárolják a csapadékot és tehermentesítik a csatornahálózatot. A nagy esők következtében a városok utcáit elárasztó csapadék mennyisége jelentősen csökkenhet.

A levegő minőségének javítása

Hundertwasser: „a növény a legjobb albérlő, mert nem pénzzel fizet, hanem oxigénnel”.⁴

A zöldtetők és -homlokzatok képesek kiszűrni és megkötni a levegőben lévő szennyezőanyagokat. Minden zöld növény képes szén-dioxid (CO₂) és víz felvételével szénhidrátokat képezni s amellet oxigént (O₂) leadni a levegőbe. „Egy év alatt, egy négyzetméter bezöldesített fal 2,3 kg szén-dioxidot köt meg, és 1,7 kg oxigént termel.”⁵

A városi levegő por- és szennyezőanyag-tartalma magas, különösen nagy forgalmú utcák közelében. Ennek csökkentésében is segítenek a zöldhomlokzatok, a növények kiszűrik a port és az egyéb káros anyagokat.⁶

Zajvédelem

Az ipari zaj mellett a közlekedési lárma sújtja a lakosságot a legnagyobb mértékben a településeken belül, elsősorban az autópályák és vasútvonalak közelében. A lakosság életminősége erősen csökken és a lárma az egészségre is kihat: bizonyíthatóan lelki és testi károkat okoz, keringési és alvászavart

² Finke, C. – Osterhoff, J.: Zöld homlokzatok. Budapest, CSER kiadó. 2002.

³ Élő Zölden Pincétől a Padlásig. Szerk.: Horváth Zoltán. Esztergom, Esztergomi Környezetkultúra Egyesület. 2011.

⁴ Bardóczi Sándor: Kis növénytan óra: építészeknek. 2010.01.22. Elérhető az Interneten: <http://epiteszforum.hu/nyomtatas/kis-novenytan-ora-epiteszeknek> (2015.10.09.)

⁵ Az eredményt közölte a Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden 2009-ben.

Elérhető az interneten: <http://hu.helix-pflanzensysteme.de/de/content/articles/hidrokultur-as-noevenyrendszer-anyag-es-energiamerlege-68/> (2015.10.09.)

⁶ A zöld javítja a város klímáját. Elérhető az Interneten: <http://hu.helix-pflanzensysteme.de/de/content/varosi-klima-107/> (2015.10.09.)

eredményezhet. Ezért a növényekkel borított felületek akusztikai visszaverődéseket gátló tulajdonsága is hasznos a városi komfortérzet javításában.⁷

b. Gazdasági előnyök:

Az épületek hőszabályozásának energiaigénye – és így a költsége is – jelentősen csökkenthető zöldtető és zöldhomlokzat alkalmazásával, kihasználva ezek nyári hűtő- és téli szigetelőhatását.

Zöldhomlokzatok alkalmazásával is csökkenthetjük a felújítási költségeket. Például ha ép vakolatú falra futtatunk, a növények kapaszkodó hajtásai és légyökerei nem tudnak kárt tenni benne, a teljesen kifejlődött lombozattal bíró növényekkel a falak szárazabbak, és védettebbek a különféle környezeti hatásokkal szemben, így a homlokzatot akár 50–60 évig nem kell felújítani, ami az elterjedt vakolt felületképzések élettartamának többszöröse. A lombréteg alatt az alacsonyabb kén-dioxid-tartalom és a záporosók elleni védelem miatt kisebb a korrózió, ezért a saját tartószerkezettel rendelkező zöldfal esetén is figyelembe vehető ez a kedvező hatás.

c. Társadalmi előnyök:

Esztétikai és pszichológiai hatás

A zöldburkolatok esztétikai jelentőségét növeli, hogy Európában a becslések szerint már a közeljövőben is az emberek több mint 80 %-a fog a városokban lakni.⁸

Az embereknek pszichológiai igénye találkozni a természet szín- és formagazdagságával, valamint szépségével. Különös jelentőségű a nyugtató zöld szín és az állatok jelenlétének és hangjának érzékelése. A zöldburkolatok vizuálisan segítenek csökkenteni a városi lakosságot érintő zöldterületek hiányából fakadó stresszt, jelenlétük növeli a város általános gazdagságát. A befutatott falak és a zöldtetők segítenek mérsékelni a városi lakosság természettől való elidegenedését, hozzájárulhatnak a környezettudatos gondolkodásmód terjedéséhez.

Több pszichológiai tanulmány igazolta, hogy az általános életminőséget javítja a zöldterületek növelése. Határozott összefüggések vannak a hangulat, az egészség és a természet között. Ez azt jelenti, hogy a mentális és érzelmi stabilitást kedvezően befolyásolják a zöldterületekkel és a természettel való szorosabb kapcsolat.

Biodiverzitás – élettér

Európában jelenleg a vadon élő fajok csaknem egynegyedét kihalás fenyegeti. A biodiverzitás csökkenését kiváltó fő okok (az élőhelyek átalakítása, a természeti erőforrások túlzott kiaknázása, az idegenhonos özőnfajok behurcolása és elterjedése, az éghajlatváltozás) hatása az utóbbi időben felerősödött.

Mivel a biológiai sokféleség válságban van, minden lehetőséget meg kell ragadni, hogy az európai uniós vezetők által 2010 márciusában a biológiai sokféleségre vonatkozóan 2020-ra kitűzött kiemelt célt teljesíteni lehessen.⁹ Így a zöldhomlokzatokban rejlő lehetőségeket is ki kell használni, azt, hogy élőhelyet biztosítsanak a növények mellett számos állatfajnak is, hozzájárulva ezzel a biodiverzitás megőrzéséhez.

⁷ Pefe: Növényt a házra! De miért? 2010.10.11. Elérhető az Interneten: http://zoldfal.blog.hu/2010/10/11/novenyt_a_hazra_de_miért (2015.10.09.)

⁸ Finke, C. – Osterhoff, J.: Zöld homlokzatok. Budapest, CSER kiadó. 2002.

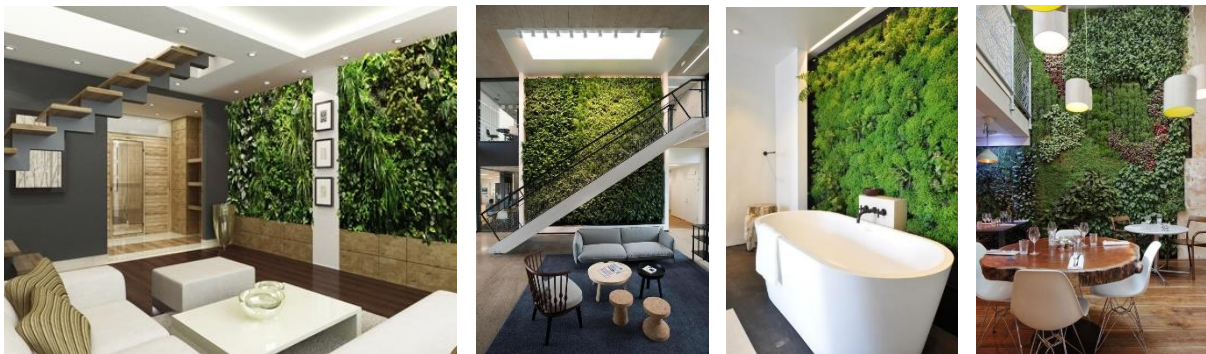
⁹ EU Biodiversity Strategy to 2020 – towards implementation. Elérhető az interneten: <http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/2020.htm> (2015.10.09.)

1.2.2. A zöldhomlokzatok szerkezeti megoldásai¹⁰

Zöldfalakat kül- és beltéren egyaránt kialakíthatunk.

A beltéri zöldfal figyelemfelkeltő megjelenési formája a természetnek a belső terekben, azokat elegánssá, különlegessé varázsolja, olyan mikroklímát kialakítva, amely a teljes belső enteriőrre nagy hatással van. A beltéri zöldfalak szerkezeti felépítményt igényelnek, amely tartja az ültetőközeget, öntöző rendszert és a növényeket, a szerkezet szükséges mélysége kb. 20 cm. A termőréteg kiválasztását a szerkezeti felépítmény és a helyi feltételek határozzák meg. A termőrétegnek jó víztartó és vízáteresztő tulajdonságokkal kell rendelkeznie, hogy a megfelelő vízmennyiséget fel tudja venni a növényzet, de a többletvíz gyorsan távozzon a rendszerből.

A zöldfal növényeit közel azonos fény-, tápanyag- és vízigényű szobanövények alkotják. A növénykiültetés nagyon változatos, kialakíthatóak párnás hatású zöldfalak, de választhatunk nagyobb növényeket is és a kettő variációiból, különböző levelű növények segítségével különleges hatású növényfalakat hozhatunk létre.



Beltéri növényfalak kialakítási lehetőségei.

Képek forrása: <http://officesnapshots.com/2012/12/05/skanska-sweden-green-office-design/>; <http://www.lushome.com/7-modern-interior-trends-2015-reinventing-classic-luxury-versatile-functionality/134141>; <http://restaurantandbardesignawards.com/> (letöltve: 2015.10.20.)

A növények külső homlokzatra történő telepítésének alapvetően két módját különböztethetjük meg:

- közvetlenül a falszerkezetre, támaszték nélkül kúszó, futó növények (pl.: vadszőlő, borostyán stb.);
- támszerkezetet igénylő növények: futó-, támaszkodó-, csavarodó, kordonosan nevelhető, termőközeget igénylő növények.

1.2.2.1. Talajkapcsolattal rendelkező szerkezetek

Falra futtatott

Amennyiben a növényvel borítandó homlokzati felület talajkapcsolattal rendelkezik, alkalmazhatóak a futtatott rendszerek. Ezeknek a megoldásoknak legnagyobb előnye olcsóságuk illetve hagyományos elfogadottságuk.

A közvetlenül a falra futni képes növények alkalmazásakor támrendszer kialakítására nincs szükség – azonban a fiatal növények védelmére szükség lehet védőrács építésére.

¹⁰ A szerkezeti kategóriák és jellemzésük a <http://greenwall.pro/hu/architecture/> (2015.10.09.) oldal alapján.

A futónövény telepítése előtt meg kell győződni a fal megfelelő állapotáról, hiszen befuttatása után javítása lényegesen megnehezül. A futtatott növények lehetséges futtatási magassága fajtól függő mértékben genetikusan behatárolt (2-20 méter).



Támrendszer nélkül falra futtatott növények.

Képek forrása: <http://www.edenkert.hu/vilagos-zold/termeszet/borostyan-hedera-helix/4506/>; [http://ezermester.hu/cikk-1082/Elet_a_falon](http://ezermester.hu/cikk-1082/Elet_a_falon;); <http://antalvali.com/hirek/tippek-hoseg-tulelesere.html> (letöltve: 2015.10.20.)

Segédszerkezetre futtatott

Az ebben a csoportban alkalmazható növények felfuttatásához kell egy olyan segédszerkezet, melybe a növény kapaszkodó szervei (kacs, inda) bele tudnak kapaszkodni. A vázszerkezet kialakításánál lényeges szempont a statikai méretezés. A kifejlett növények levéltömegét nehéz előre meghatározni, az számos tényező függvénye, ennek megfelelően ezek a szerkezetek általában jelentősen túlméretezettek. A segédszerkezet legtöbbször futtatórács, háló vagy szimpla sodrony.

A támasztékot célszerű úgy kialakítani, hogy az az épülettel összhangban legyen, ugyanis a növényeknek szükségük van némi időre, míg befutják és takarják azt, valamint a támrendszer télen, a lombzat lehullása esetén szintén láthatóvá válik.

A teherbírasi és esztétikai szempontokon túl igen fontos a növényekkel való összeférhetőség, az élettartam, a karbantartási igény, a szerkezet kialakításának egyszerűsége, a támaszték saját tömege, a biztonság, és a kialakítással kapcsolatos fenntartási költségek.

A támrendszert a faltól legalább az adott növényfajra jellemző maximális hajtásátmérőnyire kell elhelyezni. A rácsköznek legalább kétszer akkorának kell lennie, mint a hajtásvastagság.

A növények hajtásuk csavarodásával, vagy kacsokkal kapaszkodhatnak, esetleg csak rátámaszkodnak (például a rózsafélék) a támrendszerre. A különféle módon kapaszkodó növények támrendszer iránti igényei eltérnek.

A fémből készült támasztékok előnye a viszonylag nagy teherbíró-képesség, a hosszú élettartam. A fém mindenképpen legyen korrózióálló, hiszen így elkerülhetjük a homlokzaton rozsdacsíkok megjelenését. A fémek alkalmazásakor problémát okozhat azok jó hővezetőképessége, nyáron hőmérsékletük elérheti a 70 °C-ot, emiatt leginkább a hajtások csúcsai károsodhatnak. A fémszerkezetek koratavasszal fagykárokat okozhatnak, a hőmérsékleti szélsőségek káros hatásai ellen jó védelmet nyújthat a támrendszer drótköteleinek geotextillel vagy műanyaggal való borítása.

Egy igényes, rozsdamentes acél támrendszer kialakítása komoly technológiai tudást és körültekintő tervezést igényel, árfekvése magas.

Fa felhasználásakor figyelni kell a fajválasztásra, viszonylag tartós a tölgy, a fenyő és az akác. A fa tartóssága impregnálással és konstrukciós védelemmel is fokozható. A növények jól tűrik a támasztóelemek fakátránnyal, faolajjal vagy gyantával való kezelését.

A támrendszert műanyagból is el lehet készíteni, ennek azonban lényegesen kisebb a teherbíró-képessége és az élettartama. Követelmény, hogy a fényel és az időjárással szemben ellenálló legyen.

A támasztékot leggyakrabban az épület falához rögzítik. A rögzítőelemek kialakításánál ügyelni kell arra, hogy azok korrózióállóak vízszigetelők és teherbírók legyenek. Különös gonddal kell eljárni a külső szigetelésű falak esetén.



Segédszerkezetre futtatott növények.

Képek forrása: <http://www.jakob.co.uk/projects/41-st-dominics-college-case-study.html>; <http://england.all.biz/green-wall-systems-g52442#Viv2SCv534c>; <http://construindo.org/fachadas-verdes-na-arquitetura/>; <http://www.green-walls.co.uk/gallery/large-scale-greenwall-systems.html#> (letöltve: 2015.10.20.)

Talajkapcsolattal nem rendelkező zöldhomlokzatok

Azokat a növényeket is el lehet helyezni a homlokzaton, amik nem futónövények. Ebben az esetben a növény gyökerét is egy homlokzati szerkezet tartja, ekkor viszont ügyelni kell a tápanyag-utánpótlásra és a fagytűrésre. Ezeknek az ültetőközeges módszereknek több típusa is kifejlődött már: van ahol a növénykazettákat hátulról, egy kezelőhídról lehet gondozni, van ahol a kazetták önhordó szerkezetként épülnek egymásra, van ahol átszellőztetett homlokzatburkolatként működik a szerkezet.

A talajkapcsolatot nem igénylő rendszerek többsége a hidrokultúra elvén működik, ahol a hagyományos „földkultúrás” növényekhez képest lényegesen kisebb térfogatú gyökérszóna is elegendő a növények megfelelő fejlődéséhez. Ez alapvető fontosságú, mind az ár mind a tömeg alacsonyan tartása szempontjából. A szerkezetek lehetnek függesztettek, falhoz rögzítettek, és öntartók. A falszerkezetnek megfelelő teherbírással kell rendelkeznie, hogy a hordszerkezetet fogadni tudja.

Az öntözést automata öntözővel célszerű megoldani és gondoskodni kell a csurgalékvizek elvezetéséről is. A növényzet többnyire rosszul tolerálja a nagy meleget és az erős légmozgást.

Zsebes

A talajkapcsolatot nem igénylő rendszerek legkorábbi változata, melynek szülőatyja Patrick Blanc.

A rendszer úgy épül fel, hogy egy homlokzathoz rögzített tetszőleges vázszerkezethez hozzárögzítenek egy vízzáró anyagot (védendő a tartószerkezetet és a falazatot), erre egy vagy több filcnemez réteg kerül, a növények pedig e rétegek közé, a legkülső filcnemez rétegen kivágott zsebekbe kerülnek beültetésre, majd idővel az anyagba begyökeresednek. Ez a rendszer bár nem túlzottan költséges, de műszaki szempontból igen sok kívánnivalót hagy maga után:

- a filc anyag felülete már új korában sem kifejezetten esztétikus, rövid idő alatt pedig a sókiválástól, algásodástól csúnyává válik. Ez nem okoz problémát addig, amíg a lombzat takarása 100%-os, de bármilyen okból bekövetkező lombvesztés esetén ez a felület megmutatkozik.
- az anyag könnyen sérül, szakad, a növények elkerülhetetlen cseréje, pótlása mechanikailag károsítja a filcnemezt, ami ezáltal alkalmatlanná válik feladata betöltésére.
- a szerkezet néhány milliméteres vastagsága nem képes megfelelő védelmet nyújtani a gyökérszóna számára a környezeti változások (tél-nyár) tompítására.

- a gyökerek minden irányba terjeszkedhetnek, így a felület megjelenése spontán alakul, idővel az agresszívebb fajok veszik át az uralmat, a felület változatossága pedig csak cserékkel tartható fenn.

Ezzel együtt a mai napig a legismertebb installációk ilyen rendszeren készültek; amit kevesen tudnak, hogy ezek a felületek dekoratív állapota csak rendszeres, komoly mértékű pótlással és igen magas költségek mellett tartható fenn.

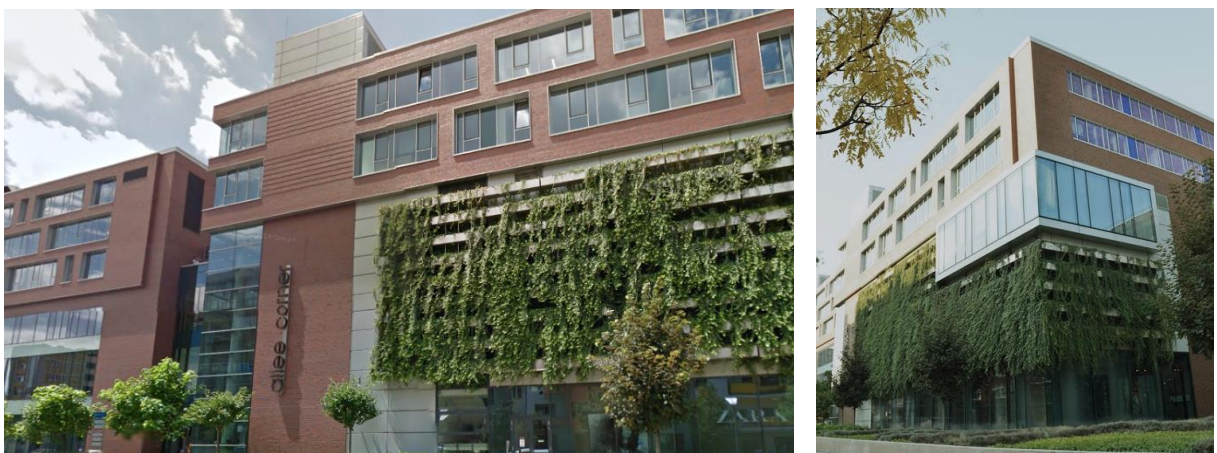


Zsebes rendszerű kialakítás Patrick Blanc legismertebb épületein: Caixa Forum – Madrid/E; Musée du Quai Branly – Párizs/F; Athenaeum Hotel – London/GB

Képek forrása: <http://twistedstifter.com/2011/10/incredible-vertical-gardens-patrick-blanc/>; <http://www.panoramio.com/photo/8898535>; <http://handmadeidea.com.ua/decor-interiera/iskusstvo-vertikalnogo-ozeleneniya-shedevry-patrick-blanc/#.VRGWhvysXI8> (letöltve: 2015.10.20.)

Konténeres

Ez a rendszer a balkonládákba való beültetéshez áll legközelebb, a konténeres zöldhomlokzati rendszerekben a ládák több sorban egymás fölött kerülnek elhelyezésre. Az edények készülhetnek fémből, fából, műanyagból, a legkülönbözőbb méretben és kialakításban. Tekintettel kell lenni a víz- és időjárás-állóság követelményére. Ennél a technológiánál is javasolt a hidrokultúra alkalmazása. Termőföldbe is beültethetőek a növények, de annak minden – korábban említett – hátrányával itt is számolni kell.



Konténeres rendszer: Allee Bevásárló Központ – Budapest/H

Képek forrása: <https://www.google.hu/maps/@47.4747834,19.0500408,3a,90y,276.49h,87.58t>, <http://greenwall.pro/hu/gallery/> (letöltve: 2015.10.20.)

Moduláris

A moduláris megoldások a zsebes és a konténeres rendszerek előnyeit ötvözik, miközben hátrányait igyekeznek kiküszöbölni. Anyaguk jellemzően valamilyen műanyag vagy fém, a növénytartási rendszer szinte kizárólag hidrokultúra. A korábbi rendszerekhez képest lényegesen használhatóbb műszaki megoldásokkal szolgálnak, az elmúlt évek fejlesztőmunkája leginkább arra irányult, hogy ezen előnyös

tulajdonságok megtartása mellett hogyan lehet a bekerülési árat lejjebb szorítani. Napjaink kutatásai szinte teljes egészében ilyen rendszerek létrehozására illetve tökéletesítésére irányulnak.



Moduláris rendszerek.

Képek forrása: <http://tournesolworks.com/wordpress/index.php/2010/03/mario-batalis-pizzeria-mozza-edible-living-wall-installed/>; <http://rs79.vrx.net/interests/house/green/wall/building-exterior/green-walls2.jpg.meta/>; <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/parabienta-green-wall-from-shimizu.html> (letöltve: 2015.10.20.)

1.2.3. A zöldhomlokzatok növényfajai

A zöldhomlokzatok kialakításakor elsősorban a futónövények közül választhatunk, leggyakrabban csak egy fajt telepítenek a befuttatandó területhez. Ennek elsősorban az az oka, hogy a fajok jellemzően igen nagy növekedési erélyűek és egy tő is képes a befuttatandó falfelület beborítására, továbbá a növények nagy mérete miatt kevésbé érvényesülnének az egyes fajták jellegzetességei.

A zöldhomlokzatok kialakítására hazánkban leggyakrabban a támrendszert nem igénylő fajokat, például az őshonos borostyánt (*Hedera helix*) használják. Az örökzöld, árnyékkedvelő, az északi falakhoz is kiválóan telepíthető növény elsősorban leveleivel díszít. A telepíthető növények közül az egyik legnagyobb négyzetméterenkénti zöldtömeget fejleszti. A borostyán akár 30 m magasra is felfuthat. Igénytelen a talajjal és a klímával kapcsolatban, hosszú életű (akár 150 év), az erős metszést is jól viseli. Nem tűri a pangó nedvességet, a talajtömörödést és a fagy miatt fellépő kiszáradást.

Szintén elterjedten alkalmazzák az Észak-Amerikából származó ötlevélkékű és az ázsiai eredetű háromkarékú vadszőlő fajokat (*Parthenocissus quinquefolia* és *P. tricuspidata*). A borostyánhoz hasonlóan a vadszőlőfajok hosszú életűek, 10 méter fölé nőhetnek, a metszést jól tűrik és leveleikkel díszítenek. Ezek a lombhullató növényfajok októberben narancssárgára vagy vörösre színeződnek. A napos déli falakat kedvelik. A két faj között az az eltérés, hogy míg az ötlevélkékű faj elsősorban függőleges irányban terjeszkedik, addig a háromkarékú vadszőlő ágai inkább vízszintesen futnak.



Borostyán, ötlevélkékű és háromkarékú vadszőlő, kínai lilaakác.

Képek forrása: <http://kertmanufaktura.blogspot.hu/2012/05/novenyek-hazfalon.html>; <http://www.botanikaland.hu/parthenocissus-quinquefolia/tapado-vadszolo/>; http://www.megyeriszabolcskertesete.hu/vadszolo_fajtak_hazfal/; <https://davisla.wordpress.com/2011/04/21/plant-of-the-week-wisteria-sinensis/> (letöltve: 2015.10.20.)

Nyugat-Európában egyre gyakrabban ültetik a kínai lilaakácot (*Wisteria sinensis*). Ez a lombhullató faj a fent említettektől jelentősen eltér, mivel szárának csavarodásával kapaszkodik támrendszert igényel. A hosszú életű növény a napos-félárnyékos falakat kedveli. Lila fűrtvirágzata május-június hónapokban nyílik. A talajtömörödésre érzékeny.

A fentiek mellett más, általában alacsonyabbra felnövő, támrendszert igénylő fajok is alkalmasak a zöldhomlokzatok befuttatására. Ilyenek például a virágokkal díszítő loncfélék (*Lonicera sp.*), a trombitafolyondár (*Campsis radicans*), az iszalag- (*Clematis sp.*) és futórózsafajok (*Rosa sp.*), valamint a szőlőfélék (*Vitis sp.*).



Trombitafolyondár, hegyi iszalag, futórózsa.

Képek forrása: <http://www.felderrushing.net/vines.htm>; http://www.crocus.co.uk/plants/_/clematis-montana-var-rubens-tetrase/classid.904/; <http://www.sieberz.hu/termek/narancssarga-futorozsa-2/> (letöltve: 2015.10.20.)

Kisebb magasságoknál (családi házak esetén) egynyári fajokat is használhatunk a homlokzat árnyékolására. Az itt alkalmazható fajok vagy virágokkal díszítenek – mint például a hajnalka- (*Ipomoea sp.*) és a sarkantyúkafajok (*Tropaeolum sp.*) – vagy termésük ehető, mely esetre az uborka (*Cucumis sp.*), és egyes tök- (*Cucurbita sp.*), illetve babfajok (*Phaseolus sp.*) említhetők példaként. Minden esetben szükséges a támrendszer kialakítása.

Lehetőség van a kisebb növekedési erélyű gyümölcsfák vagy díszfák házfal mellé telepítésére is. A fal mellé telepített ún. redélyfák igen gondos metszést igényelnek, a fal síkjával párhuzamos, nagyon lapos koronaformát kell kialakítani. A metszéskor arra kell figyelni, hogy az oldalról lapos korona ágai ne érjenek a házhoz, ez gyakorlatilag megegyezik a gyümölcsössvények formájával, azzal a plusz tulajdonsággal, hogy közvetlenül a házfal mellett vannak, így árnyékolják azt. A gyümölcsfákat a ház falától 40–50 cm-re kell telepíteni¹¹, érdemes törpe alanyra oltott fajtákat választani, mert akkor nem kell félni attól, hogy a túl erős gyökérzet miatt a redélyfák kárt tesznek a ház alapjában, esetleg bejutnak a pincébe vagy megemelik a ház körül futó betonjárdát.



Redélyfák

Képek forrása: <https://en.wikipedia.org/wiki/Espalier>, <http://www.biodiverseed.com/post/124786421413/espalier-cherries-image-leonora-enking-on-flickr>, <http://www.magyarvagyonok.com/csoportok/78-Hobby-kertesz/temak/771/> (letöltve: 2015.10.20.)

¹¹ Zöld homlokzatok. 2010.04.16. Elérhető az Interneten: http://ezermester.hu/cikk-4505/Zold_homlokzatok (2015.10.09.)

1.3. Feladat megfogalmazása

A fentebbi fejezetekben ismertettem a zöldfalakat általánosságban, a zöldhomlokzatok alkalmazásának előnyeit valamint röviden bemutattam a különböző szerkezeti kialakításokat, illetve, hogy milyen növényeket alkalmazhatunk.

Ebben a dolgozatban csak áttekintő jelleggel, felületesen foglalkozok a szerkezeti kialakításokkal. Közös munkát folytattam két hallgatótársammal – Holczer Eszterrel és Kazi Zsolttal – a komplexitás jegyében. A két dolgozat kutatási területe és felépítése szorosan összefügg, azonban más célokat tűztünk ki. Eszter és Zsolt dolgozatának címe: *Zöldhomlokzati rendszerek szerkezeti megoldásainak elemzése, s a különböző zöldhomlokzati rendszerek szerkezeti megoldásait rendszerezik.*

A dolgozatom célja egy mérési rendszer megtervezése és kiépítése egy kísérleti zöldhomlokzat hőfizikai jellemzőinek mérésére, mely segítségével a zöldfalak pozitív hőtechnikai hatásait a jövőben konkrét számszerű adatokkal támaszthatom alá. Így bizonyítást nyerhetnek a szerkezet általam ismertetett lehetséges előnyei.

A megfelelő mérési rendszer megtervezéséhez tanulmányoztam az utóbbi években zöldhomlokzatok vizsgálatáról publikált cikkeket, és ezek alapján határozom meg a szükséges mérési paramétereket és pontokat.

A piacon fellelhető mérési technikák és eszközök megismerése után kiválasztom a legalkalmasabb eszközöket, ezekkel tervezem meg a kísérleti zöldhomlokzati fal mérési rendszerét. Reményeim szerint a rendszer kiépítése, majd tesztelése és a hosszabb távon való mérés segít megbecsülni a falszerkezetek hőtechnikai viselkedésében megmutatkozó változást, energetikai és gazdasági megtérülést érintő becsléseket is végezhetünk a zöldhomlokzatok telepítését megelőzően – ez azonban mindenképp egy jövőbeli kutatás eredménye lehet.

2. Elméleti előkészítés

2.1. Tudományos környezet, a szakirodalom vizsgálata

Első lépésként, a témám pontos lehatárolása előtt fontosnak tartottam, hogy a zöldhomlokzatokról publikált cikkekből tájékozódjak, megismerjem, mivel foglalkoznak a kutatók, továbbá milyen kutatási eredményekre számíthatunk.

Egyelőre igen kevés a zöldhomlokzatok energetikai hatékonyságával foglalkozó kutatás hazánkban, maga a zöldhomlokzat még mindig gyerekcipőben jár Magyarországon – amit egyrészt a szabályozások, másrészt a szerkezeti megoldásokban való tájékozatlanság okoz. Így elsősorban nemzetközi publikációkra támaszkodhattam, szerencsére az utóbbi években egyre több ilyen témájú kutatás történt. Mind a zöldhomlokzatok mind a zöldtetők alkalmazásának energiaigény-csökkentő hatása foglalkoztatja a kutatókat, s a konkrét mérések mellett a számítógépes modellezés szolgál eszközzel ezen a területen folytatott vizsgálatokhoz. A modellezés segítségével általános érvényű egyenletekkel meghatározhatjuk a zöldszerkezetek hatékonyságát – energetikai és gazdasági szempontból egyaránt, azonban a kapott eredményt nem tekinthetjük ténynek addig, míg konkrét mérésekkel nincs alátámasztva, validálva.

Az általam megismert kutatások közül azokat emelem ki ebben a fejezetben, melyek matematikai számításokon és digitális modelleken túl konkrét mérési eredményeket is közölnek az állításai bizonyítására.

D.J. Sailor: A green roof model for building energy simulation programs¹²

Sailor legtöbb publikációja a zöldtetők városi hasznosításával, hasznosságával foglalkozik. Ez a cikke, melyet most vizsgálok, olyan – több kutató által is hivatkozott – megállapításokat tartalmaz, ami az én munkám szempontjából is jelentős.

A zöldtetők olyan szerkezetek, melyek a térelhatároló tartószerkezet fölött ültetőközeggel rendelkeznek. A táptalaj vastagságát a tetőre telepített növényzet fajtája befolyásolja. Ez alapján megkülönböztetünk extenzív és intenzív zöldtetőket, a vékonyabb talajréteget – 10-20 cm – igénylő extenzív zöldtetők jóval elterjedtebbek. Ezeket a szerkezeteket évszázadok óta használják, azonban az utóbbi években egyre többet alkalmazzák új és meglévő épületek esetében is előnyös tulajdonságai miatt: esztétikus látványt nyújtanak, javítják az élőhely minőségét, csökkentik az esőzések okozta vízterhelést, és energiaigény-csökkenést érhetünk el velük.

A legtöbb tanulmány csupán a zöldtető felületi hőmérsékletét vizsgálja, azonban felmerült, hogy szükséges összetett energetikai vizsgálatokat is végezni, hogy matematikai modellekkel leírhatóak legyenek a zöldtetők hőfizikai hatásai.

Sailor szerint a modellhez a következő adatok szükségesek:

- a talaj legfontosabb tulajdonságai: a hővezető képessége, fajlagos hőkapacitása, sűrűsége, vastagsága, hőmérséklete, elnyelődések (hő, napsugárzás, látható hullámok);
- a növényzet legfontosabb tulajdonságai: növényzet magassága, levél terület index, lefedettség, reflexiós tényező, sztóma ellenállás, növényzet egyenetlenségének mértéke;
- szél sebessége a növényzet fölött/között;
- levegő sűrűsége, hőmérséklete több magassági ponton: talajfelszínhez közel, lombzat magasságában, lombzat fölött.

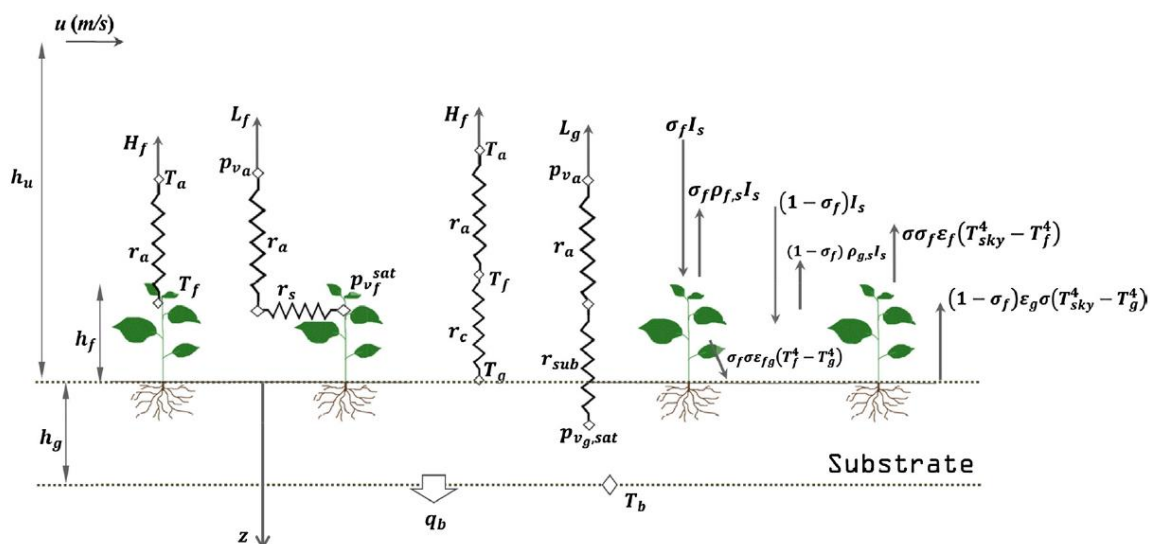
A modell jelentős előrelépést jelent az épületek energetikai tervezéséhez, jó közelítéssel számíthatjuk ki az épületben mérhető potenciális energiamegtakarítást, melynek segítségével életciklus-költség elemzéseket végezhetünk.

¹² D.J. Sailor: A green roof model for building energy simulation programs. In.: Energy and Buildings 40. 1466–1478. 2008.

A tanulmány kiemeli a zöldhomlokzatok és zöldtetők fontosságát a fenntarthatóság és a környezet szempontjából – elsősorban a szerkezetek hőszigetelő hatását helyezi előtérbe. Ezen kutatást megelőzően nagyon kevés esetben vizsgálták a zöldfalak viselkedését, a zöldtetők alkalmazásából bekövetkező hőnyereségek, -vesztések számszerűsítése élvezett előnyt. A legtöbb mérés hasonló eredményre jutott: egyértelműen kimutatható a zöldtetőnek köszönhető hűtési/fűtési energiaigény-csökkenés.

Az egyik legfontosabb megállapítás az én kutatásom szempontjából az a kijelentés, hogy a zöldfalak esetében több változót kell figyelembe vennünk, mint a zöldtetőknél, ha modellezni szeretnénk a homlokzat hőtechnikai viselkedését. Ilyen tényezők például a tájolás, a víztartalom eloszlása a zöldfal egészében, a hő- és páratranszport, a külső felületek sugárzási tulajdonságai, a növényzet és a táptalaj hidrotermikus viselkedése.

Szükség van tehát egy új modellre, mely figyelembe veszi a zöldszerkezetekben lejátszódó hő- és páraátadási kapcsolatokat. Ezek meghatározásához a sugárzási és hőfizikai paraméterek ismerete mellett a felület lombozattal való lefedettségének mértékére és a táptalaj jellemzőire – porózusság, víztartalom – is szükség van.



Egy növényekkel beültetett, homlokzat burkolására szolgáló modul főbb hő- és páraáramlásait ábrázoló modell. Forrás: Rabah Djedjig, Emmanuel Bozonnet, Rafik Belarbi: Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. In.: Energy and Buildings 86. 93–103. 2015. 95. old.

A matematikai modell felállítása után TRNSYS modell is készült. Ennek validálására 1:10 arányú épület makettekben végeztek méréseket. A szerkezeti rétegeken belül több mérési pontot is meghatároztak – számomra különös, hogy az „épület” belső terében egyáltalán nem végeztek mérést, ennek okaira nem tér ki a tanulmány.

Végső megállapításként arra jutottak a kutatók, hogy a zöldhomlokzat jótékony hatása nyáron, a hűtési energiaigény-csökkenésében a legjelentősebb, maximális hatékonysága az épületek nyugati homlokzatára telepített zöldfalnak van. Érdekes megjegyezni, hogy a zöldtetőkkel ellentétben a zöldfalak hatékonyságához a megfelelő öntözés és vízellátás elengedhetetlen.

¹³ Rabah Djedjig, Emmanuel Bozonnet, Rafik Belarbi: Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. In.: Energy and Buildings 86. 93–103. 2015.

K.J. Kontoleon, E.A. Eumorfopoulou: The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone¹⁴

A tanulmány azt vizsgálja, hogy a növényvel borított falszakaszok termikus viselkedését hogyan befolyásolja az épület tájolása – nyári időszakot vizsgál, mediterrán éghajlaton (Görögország).

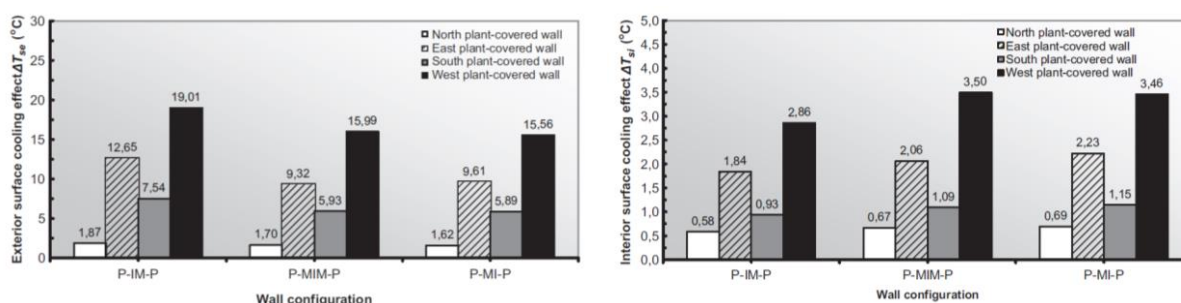
A vizsgálat során több különböző rétegrendi kialakítás esetén végezték a méréseket – külső, belső oldali hőszigeteléssel ellátott falak, maghőszigetelt szerkezet.

A mediterrán éghajlaton az erős napsugárzás és a magas hőmérséklet az épületek túlmelegedését okozhatja – ezen segíthet a növényvel borított fal.

A tanulmány szerint a modellhez a következő mérések szükségesek:

- hőmérséklet:
 - kinti léghőmérséklet (sinusosan, periodikusan változik),
 - felületi hőmérséklet a fal külső felszínén,
 - napi hőmérsékleti ingás,
 - épületen belüli hőmérséklet,
 - felületi hőmérséklet a fal belső felszínén;
- napsugárzás;
- páratartalom;
- növényzettel való fedettség mértéke (0-100%);
- légmozgás, szél hatása.

A tanulmány alapján kijelenthetjük, hogy a növényzet hűtő hatása mindenképp jelentős. A legnagyobb mértékű változást a nyugati és a keleti tájolású – napsugárzásnak leginkább kitett homlokzati szakaszokon mérhetjük.



Növényvel borított fal külső ill. belső felületén mért hőmérséklet csökkenés rétegrendi kialakítás és tájolás szerinti bontásban ábrázolva.

P-IM-P=növényzet-hőszigetelés+falszerkezet-vakolat; P-MIM-P=növényzet-maghőszigetelt falszerkezet-vakolat; P-MI-P=növényzet-falszerkezet+belső oldali hőszigetelés-vakolat

Forrás: K.J. Kontoleon, E.A. Eumorfopoulou: The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. Building and Environment 45. 1287–1303. 2010. 1299. old.

Ez a hatás a növényzettel való fedettség mértékének növelésével erősödik.

Külső hőszigetelés esetén a hőingadozás kisebb, így ezt a szerkezetet zöldhomlokzattal kombinálva még jobb hatást érhetünk el.

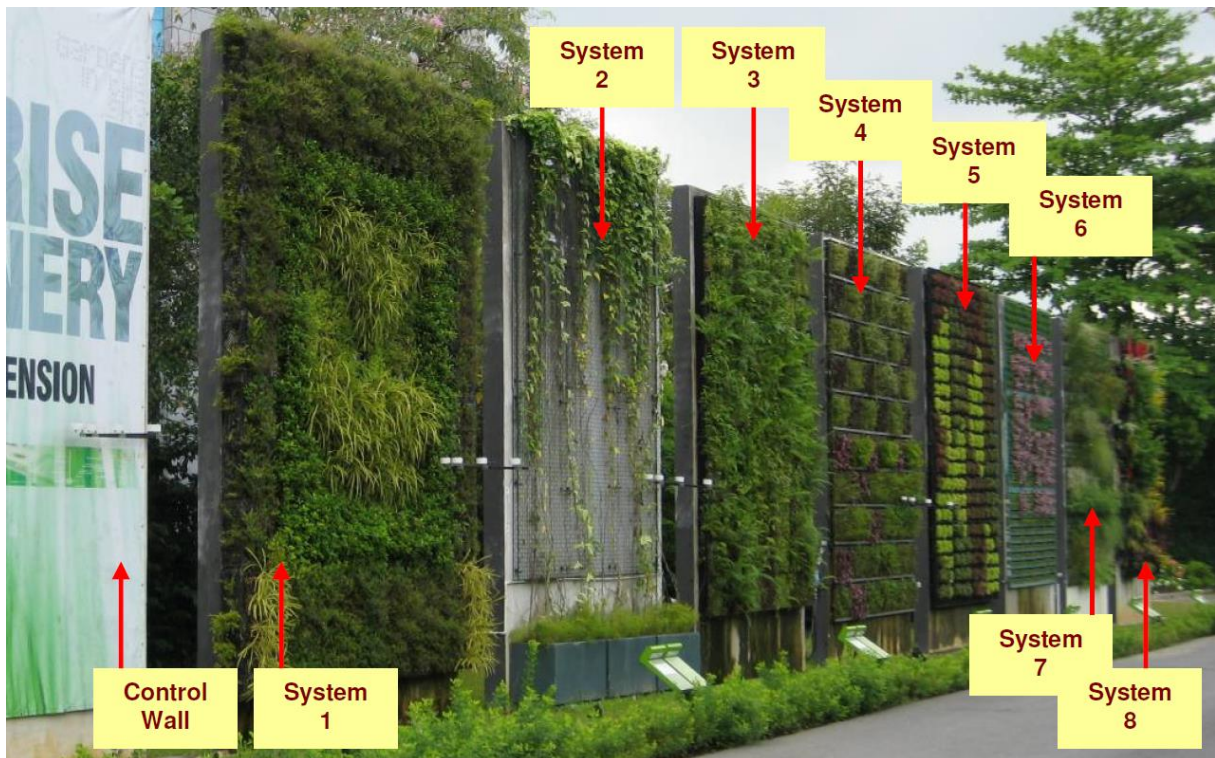
Az északi és déli tájolású falakon elhelyezett növénytakaró az épület hűtési energiaigényének csökkentésében játszik fontos szerepet.

¹⁴ K.J. Kontoleon, E.A. Eumorfopoulou: The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. Building and Environment 45. 1287–1303. 2010.

A növényzettel borított falak alkalmazása költség- és energiahatékonysági szempontokból mindenképpen jó befektetés, emellett megfelelően szabályozzák az épített környezet mikroklímáját és csökkentik a napsugárzás hatását.

Nyuk Hien Wong, Alex Yong Kwang Tan, Yu Chen, Kannagi Sekar, Puay Yok Tan, Derek Chan, Kelly Chiang, Ngian Chung Wong: Evaluation of vertical greenery systems for building walls¹⁵

A függőleges zöld rendszerek megismertetésének, népszerűsítésének céljából a CUGE of NParks telepített 8, a világ különböző részeiről származó függőleges zöldszerkezetet. A 8 függőleges rendszert igen széles spektrumban válogatták össze – kezdve az egyszerű zöldhomlokzati rendszertől egészen a komplex élőfalas rendszerig –, annak a reményében, hogy ezek a vizsgálatok jól tudják szolgálni a zöldfalak telepítését. Továbbá a Hort Park-i kísérlet része egy átfogó hőtechnikai vizsgálat, részletes ismereteket szereztek a különböző zöldfalak hőmérsékleti hatásairól a trópusi éghajlaton.



A kontrollfal és a 8 kísérleti zöldfal Hort Park-ban.

Forrás: Dr. Wong Nyuk Hien: Evaluation of vertical greenery systems for building walls. Elérhető az Interneten: <https://www.bca.gov.sg/ResearchInnovation/others/VerticalGreenery.pdf> (letöltve: 2015.09.30.)

A növényekkel burkolt oldal a kültéri, míg az ellentétes oldal a belső teret szimbolizálja. Fontos megjegyezni, hogy a „belső oldal” is ki van téve a napsugárzásnak, ami a megfelelő hőnyereséggel növelheti a külső fal felületi hőmérsékletét. Ezért, bár a 9 kísérleti fal eltér a valódi falaktól, de ez a vizsgálat a függőleges zöld rendszerek telepítése előtti fontos alapozó lépést szolgálja, a már meglévő és működő rendszerek tapasztalatait felhasználva.

Műszerezettség és paraméterek: 44 db egysatornás *Hobo U12T* típusú hőelem, amelyek technikai adatai 1,5 °C-os pontossággal lettek felhasználva a 9 fal felületi hőmérsékleténél, beleértve a kontrollfalat is. A zöldhomlokzatokon a fal és a hordozótalaj hőmérsékletét, a kontrollfalon csak a felületi hőmérséklet került mérésre. Ezen túlmenően a hőelem körüli különböző növényfajták növekedését vagy

¹⁵ Nyuk Hien Wong, Alex Yong Kwang Tan, Yu Chen, Kannagi Sekar, Puay Yok Tan, Derek Chan, Kelly Chiang, Ngian Chung Wong: Evaluation of vertical greenery systems for building walls. In.: Building and Environment 45. 663–672. 2010.

elpusztulását adatgyűjtőkkel figyelték és befolyásolták a lokalizált felületi hőmérsékletet, és ezt figyelembe veszik az elemzés során.

A környezeti hőmérséklet mérésére 16 db *Hobo H8 Pro* hőmérséklet és relatív páratartalom-mérő adatgyűjtő eszközt használnak, ami $\pm 0,5$ °C-os pontossággal működik. Az adatgyűjtők egyedi állványokra lettek rögzítve, 0,15; 0,30; 0,60; és 1,00 m-es távolságokra a hordozó felülettől.

Végül Hobo időjárás állomás lett felállítva, hogy összegyűjtse a közeli meteorológiai paramétereket, ilyenek: léghőmérséklet, relatív páratartalom, napsugárzás, szélsébség, szélirány és csapadék.

A kutatás eredményeként arra jutottak, hogy ha korlátozni szeretnénk az épületek falfelületi hőmérsékletének az ingadozását, akkor a függőleges zöld rendszerek ebben jó lehetőségeket mutatnak, és ezzel jelentősen meghosszabbítják az épülethomlokzat élettartamát, lassítják a kopást és megtakarítják a homlokzati elemek karbantartásából és cseréjéből származó költségeket.

A függőleges zöld rendszerek hőmérsékleti teljesítményei között lévő különbségeknek számos oka lehet, és különböző tényezők kombinációja is előidézheti: ilyen például a hordozóréteg típusa, a szerkezeti rendszertől való szigetelés, a tápréteg nedvességtartalma, valamint a növényzetből adódó árnyékolás és hőszigetelés. Ugyanakkor a levélfelület területe, geometriája, színe, valamint egyéb mikroklímikus tulajdonságai és a napsugárzás közötti összefüggés ennél sokkal összetettebb, és különbségeket eredményezhet a nappali, illetve éjszakai hűtési hatékonyságban.

Ezek az eredmények rámutatnak a függőleges zöld rendszerekben rejlő előnyökre az épülethomlokzatok felületi hőmérsékletének csökkentésében a trópusi klímán. A falfelület hőmérsékletének maximális 11,58 °C-os csökkentése volt megfigyelhető, ami csökkenti a hűtési energiából származó terhelést és ezzel egyben a hűtésre fordított energiaköltségeket is.

A hordozóréteg felületének átlagos napi hőingásának csökkentésében egyik zöld rendszer sem bizonyult kiemelkedőnek, a mért értékek igen változatosak.

Megállapították, hogy a függőleges zöld rendszerek környező hőmérsékletre gyakorolt hatása az adott rendszertől függ. Míg volt olyan rendszer, ami alig volt hatással a környező hőmérsékletre, addig egy másik esetében a felülettől 60 cm-re is érzékelhető hatás jelentkezett. A környezeti hőmérséklet csökkentésében a legjobb eredmény a 3,33 °C-os hőmérsékletcsökkenés, 15 cm-re a rendszertől. A függőleges felületek és falhomlokzatok túlsúlyban vannak az épített környezetben, de a függőleges zöld rendszerek alkalmazása a környezet hűtésére a városi kanyonokban ígéretes lehetőség. Továbbá a hűvösebb környezeti levegő hatással van a légkondicionálókra, mivel a légbeömlők hűvösebb levegőt szívnak be, ami a hűtési energiából származó terhelés csökkentését jelentheti.

2.2. A kutatás lehatárolása

Jelen kutatás a zöldhomlokzatok épületfizikai hatásait vizsgáló mérőrendszer kiépítésére irányul.

Az előző fejezetekben tárgyaltam, hogy miért tartom aktuálisnak és fontosnak ezt a témát. A szakirodalmi kitekintés során megerősítést nyert a zöldhomlokzatokban rejlő lehetőségek iránti kíváncsiság.

Hosszú távú mérések sikeres elvégzése után, tehát a megfelelő mérési szerkezet megtalálását követően, szeretném felhasználni azt. Tervben van egy hazánkban – mérsékelt éghajlati klímán – épült zöldhomlokzati rendszer paramétereinek lemodellezése, s azon szimulációk elvégzése. Izgalmas kérdésnek tartom, hogy milyen hatással van a zöldfal a mögöttes falszerkezet tulajdonságaira és a belső téri klímára. A mért és modellezett adatokkal igazolást nyerhet – ami a mediterrán éghajlaton végzett kísérletek során megfigyelhető – hogy a zöldhomlokzatok lényeges energiaigény-csökkentést eredményeznek.

3. Mérési lehetőségek leírása

A fentebbi fejezetben tárgyalt szakirodalmi vizsgálatot követően – az olvasottakból levonva a tanulságokat – meghatároztam, hogy milyen fizikai állapotjellemzők mérésére van szükség, ahhoz, hogy a zöldhomlokzati rendszerek hőtechnikai hatását vizsgáljam.

Ezek a következők:

- hőmérséklet:
 - külső léghőmérséklet
 - növényzet lomboszat szintjén mért hőmérséklet
 - a fal külső felületi hőmérséklete
 - a fal belső felületi hőmérséklete
 - épületen belüli léghőmérséklet
- páratartalom és párolgás:
 - külső levegő páratartalma
 - növényzet lombkorona szintjén mért páratartalom
 - ültető közeg nedvességtartalma
 - ültető modul mögött/légrésben mért páratartalom
 - épületen belüli páratartalom
 - talaj párolgása, talajnedvesség
- szél, légmozgás
- sugárzás
 - beeső sugárzás, napsugárzás
 - felületi sugárzások

A fejezet további részében a felsorolt fizikai jellemzők mérési lehetőségeivel, mérési adatok gyűjtésével foglalkozom.

3.1. Analóg mérők¹⁶

3.1.1. Hőmérséklet – Hőmérők, hőárammérők

Hőmérők

A test hőmérséklete a testek egyéb állapotjellemzőinek valamilyen függvénye.

Így megkülönböztetünk:

- térfogatváltozáson alapuló hőmérőket:
 - sűrűségváltozáson alapuló hőmérők (kezdetben használták, nem terjedt el),
 - folyadék hőmérők (hőmérsékletváltozás hatására a folyadékok kiterjedése változik meg),
 - fémhőmérők (hőmérsékletváltozás hatására deformáció következik be);
- ellenállás hőmérőket (hőmérsékletváltozás hatására valamilyen elektromos paraméter értéke változik meg);
- infrahőmérőket (a műszert érő infravörös sugárzásból számszerűsíti a kibocsátó felület hőmérsékletét).

¹⁶ A mérőeszközök kategorizálásához és pontos leírásához a következő forrásokat használtam:
Mészáros Róbert: Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek. Budapest, Eötvös Loránd Tudományegyetem. 2013. Elérhető az Interneten: <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/> (2015.10.03.)
Wikipédia: Hőmérő. Elérhető az Interneten: https://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91m%C3%A9r%C5%91#F.C3.A9mrudas_h.C5.91m.C3.A9r.C5.91k (2015.10.12.)
Egyetemi jegyzet: Hőmérsékletmérés. Elérhető az Interneten: <http://www.fke.bme.hu/oktatas/meresek/> (2015.10.12.)

A mérés elve alapján a gyakorlatban használt hőmérőket az alábbiak alapján osztályozhatjuk:

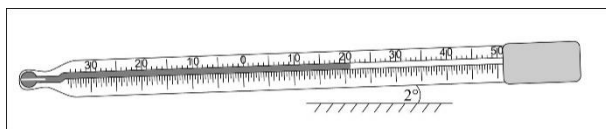
a. *Kontakt hőmérők – mérendő testtel közvetlenül érintkező:*

a/1. *Mechanikai elven működő kontakt hőmérők:*

Folyadéktöltésű üveg hőmérő: a folyadékok térfogati hőtágulásán alapul. Ilyenek például a belső-skálás hőmérő, a bothőmérő (utóbbinál a skálát kívülről karcollják az üvegre), a hőmérsékletváltozások nagy pontosságú (0,001 K) mérésére használható Beckmann-hőmérő, valamint az elektromos berendezések (laboratóriumi termosztátok) vezérlésére használatos higanyos kontakthőmérő.

Több típusa létezik:

- Állomási hőmérő: Celsius-beosztású, higanyos hőmérő, ami (-30)–(+50) °C közötti tartományban mér.
- Fuess-féle maximum hőmérő: szerkezete hasonló az állomási hőmérőhöz. A hajszálcsőben, rögtön a tartály és a cső között szűkület van. A tartály aljára forrasztott vékony üvegpálcika benyúlik a kapillárisba, növelve a higany sűrűségét. A mérőtestből kivezető cső kétszer meg van hajlítva, szintén a sűrűség fokozása miatt. Hőmérséklet emelkedéskor a higany átpréselődik az akadályokon. Lehűléskor azonban nem tud visszafolyni a tartályba, hanem a kapillárisban marad. Ekkor a higany-szál két részre szakad, külön-külön húzódik össze a tartályban és a kapillárisban. Egy adott időtartam alatt bekövetkezett maximum hőmérsékletet a higanyoszlop vége jelzi. Az alapállapot visszaállításához a hőmérőt le kell rázni. Annak érdekében, hogy lehűléskor ne csússzon a higanyoszlop magasabbra, ezt a hőmérőt a vízszinteshez képest 2°-os szögben megdöntik úgy, hogy a higanygömb felőli rész van alacsonyabban. A maximum hőmérő fél fokos beosztású, a tizedeket becsüljük.

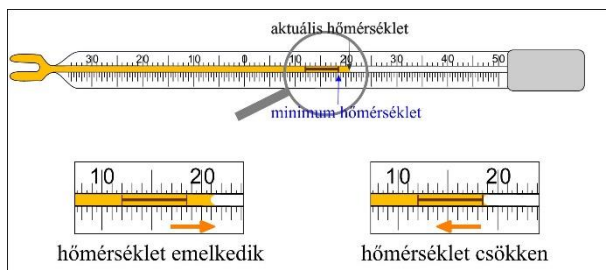


Fuess-féle maximum hőmérő.

Forrás:

<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/ch03.html#d0e3305> (letöltve: 2015.10.12.)

- Fuess-féle minimum hőmérő: a minimum hőmérőt alkohollal töltik meg. A hőmérőtest nyújtott, egy- vagy kétágú, hogy minél nagyobb felületen érintkezzen a környezettel, ezáltal gyorsabban kövesse a hőmérsékletváltozást. Az alkohollal töltött hőmérőben szabadon mozog egy sötét színű üvegpálcika. Ez az alkoholban ide-oda csúszhat, azonban az alkohol felületén nem léphet túl. A hőmérséklet emelkedésekor az alkohol körülfolyja a pálcikát, lehűléskor viszont magával húzza az alacsonyabb értékek felé. A minimum hőmérsékletet a pálcika jobb oldali vége mutatja. Az alkohol meniszkusza pedig az éppen aktuális hőmérsékletet mutatja.



Fuess-féle minimum hőmérő.

Forrás:

<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/ch03.html#d0e3305> (letöltve: 2015.10.12.)

- Radiációs minimum hőmérő: a talaj mentén kialakuló minimum hőmérséklet mérésére szolgál. Kihelyezése este, leolvasása reggel 7 órakor történik.
- Six-rendszerű maximum-minimum hőmérő: bizonyos idő alatt bekövetkező minimum és maximum hőmérséklet mérésére. Egyszerű, olcsó, de nem túl pontos műszer. Régen általánosan ezt használták a meteorológiai állomásokon. Mára visszaszorult. A hőmérőben higany és alkohol is van. A mérőfolyadék az alkohol. A higany a közvetítő folyadék szerepét

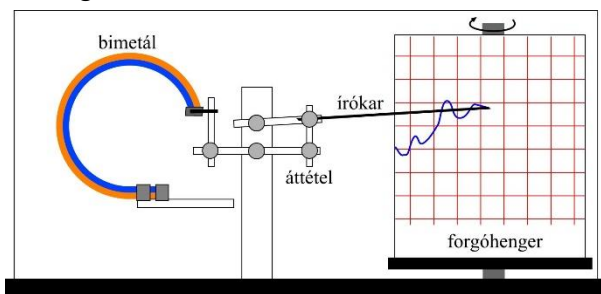
játssza. A hőmérő egyszerre mutatja a minimum, maximum és aktuális hőmérsékletet. A két oldal beosztása ellentétes irányú. Akkor működik megfelelően a hőmérő, ha mindkét ágban azonos aktuális hőmérsékletet mutat.

- Talajhőmérők: a talajhőmérséklet mérése kb. 40 cm-es mélységig a napi hőingásról, ennél mélyebb rétegekben a szezonális, valamint évközi változásokról szolgáltat információt. A talajhőmérséklet mérésére higanyos hőmérőkkel is történhet. A standard mérési szintek: 5, 10, 20, 50 és 100 cm mélységben a felszín alatt (további szintek is lehetnek). A Meteorológiai Világszervezet ajánlása szerint (WMO, 2003) a mérések feletti terület csupasz talaj növényzet nélkül, a talaj pedig a környezetre jellemző típusú.

Fémhőmérők:

- Fémrudas hőmérő: egy fémrúd lineáris hőtágulását használja fel. A mérőrudat közel zérus hőtágulású anyagból (invar) készítik, és maga a tartó nyúlása okozza az észlelhető különbséget.
- Bimetál hőmérő: a meteorológiai gyakorlatban a két fémlapból álló deformációs hőmérők terjedtek el. Működésük a különböző fémek eltérő mértékű hőtágulásán alapul. A fémhőmérők érzékelője a bimetál lemez. Ez egy nagyobb és kisebb hőtágulású fémből készített, lapjukkal összehegesztett fémszalag. Az ilyen kettős fémszalag a hőmérséklet változásakor meggörbül, deformálódik. Az elektromos hőmérők megjelenése előtt nagy előnyt jelentett, hogy alkalmas volt hőmérsékletíró (termográf) készítésére is.

A fémhőmérők hátránya, hogy mivel a fémek hőtágulása kicsi, ezért nagyító áttételek segítségével sem érhető el nagy pontosságú felbontás. További hátrány, hogy a fémek előregsznek, megváltozik a tulajdonságuk, ezért a pontos mérés érdekében gyakori verifikáció szükséges.



Bimetál hőmérő elvi felépítése.

Forrás:

<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/ch03.html#d0e3305> (letöltve: 2015.10.12.)

Folyadéknyomásos rugós hőmérő: egy merülőcsőből, összekötő vezetékkel, és egy rugalmas fém érzékelőtartályból (Bourdon-cső) áll. Az egész rendszer folyadékkal van töltve. Növekvő hőmérsékletnél nő a folyadék nyomása, s ezt a nyomásváltozást használjuk fel mérésre.

Gőznyomásos hőmérő: hasonló az előző típushoz, de nincs teljesen megtöltve folyadékkal. Itt a folyadék fölötti telített gőz nyomásának hőmérsékletfüggését használjuk.

Gázhőmérő: a tökéletes gáz állapotegyenlete szerint a konstans térfogatú gáz nyomása arányos a termodinamikai hőmérséklettel. A héliumtöltésű gázhőmérők jól megközelítik ezt a viselkedést.

Folyadék-kristályos hőmérők: az ún. koleszterikus folyadék-kristályok színe változik a hőmérséklettől függően. Melegítésre az anyagok színe a teljes látható színtartományban, a vöröstől az ibolyáig változhat. A mérési tartománya 1-2 °C-tól kb. 20 °C-ig terjed, pontossága néhány tized fok.

Hőérzékeny festékek: bizonyos anyagok színe hőmérsékletváltozás hatására ismert módon változik. Ilyen például az erősen mérgező ezüst-higany jodid, vagy a réz-higany jodid. Pontos mérésekre nem alkalmas, de nagy felületen is alkalmazható jelzőeszköz, például gépek hőmérsékleti szempontból kritikus területeit jelezheti.

a/2. Villamos elven működő kontakt hőmérők:

Termoelem: két különböző, megfelelő anyagú fémszál egyik végükön való összehegesztésével kapott hőmérő. Az érintkezési pontjuk hőmérsékletével (melegpont) arányosan 10-50 $\mu\text{V}/\text{K}$ feszültség mérhető

a különálló végek között (hidegpontok). Előnye, hogy – megfelelő fémpárt választva – különösen nagy intervallumban, -200 és 1700 °C közötti tartományban is lehet mérésre használni. A termoelem – vagy más elnevezéssel „hőelem” – működésének elméleti alapját a fém-fém érintkezési felületen kialakuló ún. kontaktegyensúly és a Seebeck-effektus adja.

Ellenállás hőmérő: működési elve azon alapul, hogy a tiszta fémek elektromos ellenállása a vezető hőmérsékletével arányosan változik. Leginkább a platina és a nikkell (esetleg volfrám) alkalmasak ellenállás hőmérő szerkesztésére. Ezekből általában spirális huzalt készítenek, és azt valamilyen burkolatba ágyazzák. A meteorológiai mérések során alkalmazott ellenállás hőmérők általában 100 Ω körüliek. A mérés során az érzékelő ellenálláson átfolyó áram mennyiségét határozzák meg.

b. Táv hőmérők – mérendő testtel közvetlenül nem érintkező:

Pirométerek: a hőenergiával rendelkező testek hőmérsékleti sugárzást bocsátanak ki, amelynek hullámhossza főleg az infravörös, a látható vagy ultraibolya tartományba esik (0,8...15 μm). A mérési módszerek a fekete testek hőmérsékleti sugárzására vonatkozó törvényeken alapulnak (ezeket Planck, Stefan, Boltzmann és Wien dolgozták ki). Az ipari körülmények között speciális esetekben alkalmazzák, például izzó olvadékok hőmérsékletének mérésénél.

Infravörös hőmérő: egy irányérzékeny elektronikus szenzor a rá ható infravörös sugárzástól függően változó feszültséget bocsát ki. -30 – +400 °C tartományban tud mérni, a szobahőmérséklet közelében több mint 2 °C-os pontatlansággal. Vannak sokkal nagyobb mérési tartományban mérők is, pl. -50 - +1600 °C között.

Hőárammérő

Infravörös kamera: a relatív hőmérsékletkülönbségeket tudja képszerűen megjeleníteni. A mai modern infrakamerák az alapadatokat beállítása után a felület abszolút hőmérséklet-eloszlását színes hőmérsékleti skálával rendelkező hőfelvételeken azonnal megmutatják.

Más hőmérsékletmérési eljárásokkal összehasonlítva a termográfia az alábbi előnyökkel rendelkezik:

- a mérés kiterjedt felületen végezhető el,
- a mérés nem változtatja meg a vizsgált objektum hőállapotát,
- a mérést a mérendő tárgytól jelentős távolságban lehet végrehajtani, így módon olyan pontok is mérhetők, amelyek megközelítése nehéz,
- lehetővé válik nagy mérendő felületek gyors vizsgálata.

Minden felület hőenergiát sugároz. Az infravörös termográfia az épületvizsgálati módszerek közül egyik leglátványosabb, a problémákat azonnal képszerűen megmutató eljárás. Legnagyobb értéke, hogy információt szolgáltat az épülethibákhoz kapcsolódó, egyébként láthatatlan hőmérsékleti eltérésekről. A modern, hordozható infrakamera a 0,05 °C pontossággal képes ezeket megmutatni a hőfelvételeken. Kitűnően alkalmazható a hőszigetelés mértékének és minőségének ellenőrzésére, épülethibák megmutatására, vagy gépészeti hibafeltárássra (pl. vezetéklyukadások, nedvesedések).

Ezek a kamerák meglehetősen érzékenyek, és könnyen torzítanak. Ezért valójában nem lehet a segítségükkel konkrét épületenergetikai számításokat végezni, mert nehezen fogjuk megtudni, pontosan mekkora a fal vagy az ablak hőátbocsátási értéke.

Ahhoz, hogy értékelhető felvételeket készítsünk, a külső és a belső hőmérséklet különbségének meg kell haladnia a 20 °C-ot. Tehát jószerével csak mínuszokban lehet dolgozni, az év háromnegyed részében nem. Ha ugyanis megközelítőleg azonos a külső és a belső hőmérséklet, nincs hőáramlás, illetve hővesztés, tehát nincs mit mérni.

3.1.2. Páratartalom – A levegő nedvességtartalmának mérése

Gravimetrikus módszer: tömegmérésen alapul. Meghatározott térfogatú levegőt valamilyen nedvszívó anyagon (abszorbensen) keresztül áramoltatnak, ezáltal a nedvszívó anyag a levegő nedvességét magába szívja, így a súlya gyarapodik. Az abszorpciós nedvességmérőkben nedvszívó anyagként

általában: foszfor-pentoxidot, vagy magnézium-perklorátot használnak. A műszerrel a levegő abszolút nedvessége mérhető. Előnye, hogy ilyen módon határozható meg a legpontosabban a nedvesség mértéke, ezért a nedvességmérés abszolút műszereinek tekinthetők, hátránya viszont, hogy szabad téren nem alkalmazható (laboratóriumi méréseknél használják).

Kondenzációs módszer: a vízgőz kondenzációját használjuk ki. Az automatikus fotocellás harmatpont higrométerben mesterségesen előidézett telítettség elérése mellett mérjük azt a hőmérsékletet, ami a harmatpont értékét jelenti.

Termodinamikai módszer: a nedvességmérést hőmérsékletmérésre vezetjük vissza és a levegő nedvességtartalmát pszichrométerekkel (hőmérős nedvességmérőkkel) határozzuk meg. A mérés elve ez esetben, hogy a víz párolgása által okozott hűlés mértékéből következtethetünk a nedvességre. A pszichrométer hőmérsékleti értékeket mér és a száraz, illetve nedves hőmérséklet közti különbség (pszichrométeres hiány) alapján egy empirikus képlet segítségével megadható valamilyen nedvességi mérőszám.

Pszichrométer típusok:

- August-féle szívófonalas pszichrométer,
- Assmann-féle pszichrométer.

Mechanikai módszer: ebbe a csoportba a nedvszívó higrométerek tartoznak, melyekkel a relatív nedvesség mérhető.

Fajtái:

- Hajszálas higrométer: a hajszálkötegek a levegő relatív nedvességtartalmának függvényében eltérő mértékben nyúlnak meg. A változást egy írókar segítségével egy forgóhengeren elhelyezett papírlapra rögzíti a műszer.
- Membrános higrométer: hasonló elven működik, de itt állati gyomorból készített aranyütő-hártya szolgál a nedvesség mérésére. Pontosabb, mint a hajszálas higrométer. Régebben főként magaslégköri méréseknél alkalmazták.

Elektromos vagy kémiai tulajdonságok megváltozásán alapuló módszer:

- Rezisztív szenzor: egyszerű, olcsó szenzor, melyben például egy lítium-klorid bevonat vizet vesz fel a nedvességtartalom függvényében, ezáltal ellenállás megváltozik. Az ellenállás-változásból a nedvességtartalomra lehet következtetni.
- Kapacitív szenzor: a szenzor elektromos kapacitása változik a légköri nedvességtartalom függvényében. Megbízható, a változásokat gyorsan követő, pontos műszer, ezért elterjedten alkalmazzák a mérések során.

Spektrális nedvességmérők: A műszerekben a vízgőz elnyelési sávjait használják ki. Különböző hullámhosszakon mérve, a vízgőz elnyelése alapján lehet annak mennyiségére következtetni. Az elnyelési sávok alapján a Lyman-alfa szenzorok, az UV-szenzorok, valamint az infravörös-szenzorok terjedtek el. Közös jellemzőjük, hogy gyors válaszidejű érzékelők, ezért általában mikrometeorológiai méréseknél alkalmazzák őket. Megbízható, pontos műszerek. Általában nem a tényleges nedvességtartalmat, hanem annak fluktuációját mérik, ami a felszín és a légkör közötti áramok (pl. nedvességáram) meghatározásánál pontos.

3.1.3. Párolgás – Párolgás mérése

A párolgás mértéke a felszínről az időegység alatt egy területegységről a légkörbe jutó vízmennyiség. A párolgás mértéke fontos információ az időjárási folyamatok megismerése és előrejelzése, a felszín-légkör kölcsönhatások vizsgálata, továbbá a mezőgazdasága és a hidrológia számára.

Évente globálisan annyi víz párolog el a különböző felszínekről, mint amennyi csapadék lehullott. Területileg és időben azonban nagy lehet a változékonyság a csapadék és a párolgás különbségében.

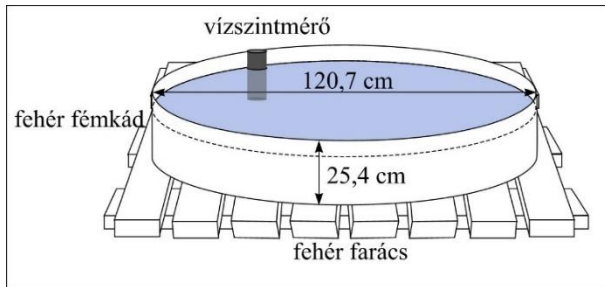
A párolgás több összetevőből áll:

- evaporáció
 - vízfelszín, illetve hófelszín párolgása,
 - csupasz talajfelszín párolgása,
- transzspiráció: növények párolgása

A két mennyiséget együtt evapotranszspirációnak nevezzük.

Atmométer: egy egyszerű mérőeszköz, amivel egy nedves porózus felszínről történő párolgás által bekövetkező vízvesztés határozható meg.

Párolgási kád és párolgási tartály: A mérésére szolgáló eszközök. Az elterjedt változatok az amerikai ún. „A” kád, és az orosz „GGI-3000” tartály.



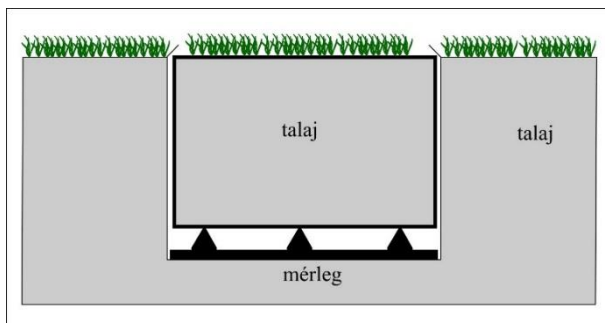
Párolgásmérő „A” kád.

A hazai gyakorlatban a levegő párologtató képességét az „A” káddal mérik.

Forrás:

<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/ch04s02.html#d0e7111> (letöltve: 2015.10.12.)

Evapotranszpirométerek (liziméterek): az evapotranszspiráció, vagyis a növényzettel borított felszín párolgásának meghatározása bonyolult feladat, a gyakorlatban liziméterekkel történik. Ezek nagyméretű, földbe süllyesztett tartályok, melyekben a környezeti viszonyokra jellemző talaj és növényzet található.



Hídmérleges liziméter működési elve.

Forrás:

<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/ch04s02.html#d0e7111> (letöltve: 2015.10.12.)

3.1.4. Szél – Szél meghatározása

A szélesebesség becslése: repülőtereken, utak mentén a szélzsák jó támpontot ad a szél irányának és sebességének becslésére. A szélesebesség a füst gomolygása, a növényzet mozgása, vagy a hullámok erőssége alapján is becsülhető. E becslés alapja a Beaufort-féle tapasztalati szélskála, amit Francis Beaufort (1774–1857) 1805-ben alkotott meg.

A szélirány meghatározása: szélzászlókkal határozhatjuk meg. A szélzászlók egy függőleges tengely körül szabadon forgó nem-szimmetrikus alumínium testek, melyek egyik vége (az ún. vitorla) viszonylag nagy akadályt képez a szél útjában, ameddig az eszköz be nem fordul a legkisebb ellenállást jelentő aktuális szélirányba. Lehetnek teljesen mechanikus szerkezetek, vagy olyanok, melyek a mechanikai változást elektromos jellé alakítják át.



Vaisala típusú szélzászló: egy elektromos széliránymérő, mely a szélzászló tengelyének forgásából egy fototranzisztor segítségével 64 szélirányt képes megkülönböztetni – ezáltal nagyjából 5-6 °-os pontosságban képesek meghatározni a szél irányát.

Forrás:

<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/ch04.html#d0e6732> (letöltve: 2015.10.12.)

Nyomólapos szélmérő: a szél sebességének függvényében egy fémlap kilendül, a kilendülés mértéke egy köríven elhelyezett skáláról olvasható le. A mai gyakorlatban már nem használják.

Rotációs szélesebesség-érzékelők: a rotációs szélesebesség mérők a szélesebesség mérésére leggyakrabban alkalmazott műszerek.

Típusai:

- forgókanalas szélmérő: a mérés során a szélkanalak tengelyének forgása által keltett elektromos impulzusokból határozható meg a szél sebessége.
- propelleres szélmérő: a propelleres szélmérők pontosabbak, mint a forgókanalások. Azonban csak akkor végezhető velük pontos mérés, ha a propeller a szél irányába fordul. A gyakorlatban ezért általában a szélzászlóval egybeépítve alkalmazzák őket
- Fuess-féle egytetemes szélíró: az elektromos eszközök elterjedése előtt a meteorológiai állomásokon a szél irányának, sebességének és lökésességének egyidejű meghatározására használt bonyolult, de pontos szerkezet volt. A műszer egy felfogó részből és írószerkezetből áll.

Speciális szélmérők:

- Hődrótos anemométer: a hődrótos anemométerben egy vékony platina, vagy volfrámszál az érzékelő, amit a levegő áramlásának, és ezáltal hűtő hatásának függvényében különböző mértékben kell fűteni, hogy hőmérséklete állandó maradjon. Ennek hatására a fémszál ellenállása megváltozik. Az ellenállás és az áramlási sebesség közötti összefüggés alapján pedig számszerűsíthető a szél sebessége. Érzékeny, pontos műszer. Kis mérete és gyors válaszideje alkalmassá teszi a turbulens momentumáramok mérésére.
- Szónikus anemométer: az 1970-es évektől kezdték alkalmazni a szélesebesség és szélirány mérésére. E műszerek érzékelői hangimpulzusokat bocsátanak ki, ami a szélről függően különböző időeltérésekkel jut el a többi mérőtesthez. Az eltérések számítógépes feldolgozásával képet kapunk a szélvektorról. Hosszútávon megbízható műszerek.

Mechanikus és elektromos anemométerek összehasonlítása¹⁷

	<i>Mechanikus szélmérők</i>	<i>Elektromos szélmérők</i>
<i>Áramforrás</i>	Nem kell külső áramforrás, a regisztráló mechanizmust működtető energiát a szélből állítja elő.	Működtetéséhez külső áramforrás szükséges.
<i>Szélmérés</i>	A sebességet két, egymástól független rendszerrel méri: <ul style="list-style-type: none"> ▪ szélút: kanállal, ▪ szélökés: Pitot-csővel. A két rendszer nincs mindig összhangban.	Egyetlen érzékelővel méri a szélutat és ebből elektronikusan állítja elő az átlagot, szélökést.
<i>Regisztrátum</i>	Jól értékelhető regisztrátum, de csak manuálisan dolgozható fel.	Digitális adatgyűjtés, közvetlen feldolgozásra alkalmas.
<i>Élettartam</i>	Megbízható, hosszú élettartamú műszer.	Rövidebb élettartam, gyakoribb karbantartást igényel.
<i>Méret</i>	nagyobb súly és méret.	kis súly és méret
<i>Szélökés mérése</i>	Pitot-csőves lökés mérés hibákat tartalmazhat.	Lökés mérés egyszerű, mintavételezési idő könnyen állítható.

¹⁷ Simon, A.: A meteorológiai megfigyelések és mérések rendszere. Meteorológiai megfigyelések, mérések és műszerek I. Tankönyvkiadó, Budapest. 1982.

3.1.5. Sugármérő műszerek – Rövid- és hosszúhullámú sugárzások mérése

A Napból érkező energia közvetlen mérésére nincs mód, a sugárzást ezért hatásai alapján határozzuk meg. A sugárzásérzékelők elnyelik az elektromágneses hullámokat, az elnyelés következtében létrejövő hatások pedig arányosak az elnyelt energia mennyiségével.

A sugárzás mérése távérzékelésen alapul, hiszen a Napból, vagy Földről jövő elektromágneses sugárzást érzékeljük.

3.1.5.1. A műszereket elvi felépítésük alapján az alábbiak szerint csoportosíthatjuk:

Fotonhatáson alapuló műszerek: a sugárzás az érzékelő elektromos tulajdonságait befolyásolja. Az érzékelés során azt használjuk ki, hogy a sugárzás fotonokból áll, azok elnyelése hatással van az elnyelő anyag elektronjainak állapotára.

Sugárzás mérésére alkalmas eszköz lehet például a fotocella, fényelem, fotodióda, fototranzisztor, fotoellenállás, foto-elektron sokszorozó. Ezeket megfelelő elektromos áramkörbe kapcsolva azok a sugárzás mennyiségével arányos elektromos jelet hoznak létre, amit érzékelni lehet.

A fotonhatáson alapuló érzékelők hátránya, hogy csak keskenyebb spektrális sávban (hullámhossz tartományban) érzékenyek.

Hőhatáson alapuló műszerek: a hőhatás eredményeként hőtágulás, vagy elektromos hatás következik be. Ezt számszerűsítve tudjuk meghatározni a sugárzás erősségét.

- Kalorimetrikus érzékelők: az érzékelő belső energiája növekszik az elnyelt sugárzás hatására, s ezt a növekedést közvetlenül, vagy összehasonlítás révén tudjuk mérni.
- Termikus érzékelők:
 - termomechanikus érzékelők: a hőmérsékletváltozás hatására bekövetkező mechanikai jellemzők változásait mérjük.
 - termoelektromos érzékelők: bizonyos elektromos jellemzők változásait mérjük.

3.1.5.2. Mérőműszerek

Pirheliométer: a Napból érkező közvetlen (direkt) sugárzás mérésére szolgáló műszer. Létezik spektrális változata is.

A műszer a Napkorong irányából érkező sugárzási áramsűrűséget méri. Egy szerkezet segítségével mindig a Nap korongjának irányába fordítják. A műszerben általában két mangánin lamella van egymás mellett, amiket felváltva árnyékolnak egy mérési ciklusban többször. Az árnyékolt lemezt csak a diffúz (szórt) sugarak érik, a nem árnyékoltat a direkt sugarak is. Az árnyékolt lemez hőmérséklete alacsonyabb lesz, mint a nem árnyékolté. Az árnyékolt lamellát melegíteni kell a hőmérséklet kiegyenlítéshez. Az ehhez szükséges áramerősséget mérve megkapjuk a direkt sugárzás intenzitását.

Piranométer: a rövidhullámú sugárzás mérésére szolgáló műszer. Létezik spektrális változata is.

A műszeren egy üvegbura található, ami befókuszálja a sugarakat az érzékelőre, egyben védi az érzékelőt a szennyeződésektől, nedvességtől. Az üveg ráadásul azzal a tulajdonsággal is rendelkezik, hogy kiszűri a 4 µm-nél nagyobb hullámhosszúságú sugarakat. Ezáltal az érzékelőre csak a rövidhullámú sugárzás jut.

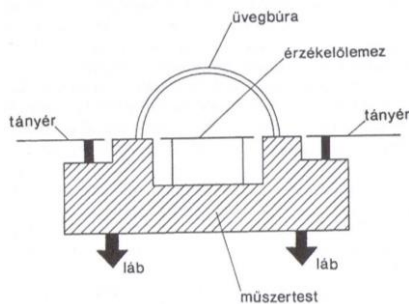
A meteorológiai mérések során leggyakrabban alkalmazott termoelektromos piranométerben a sugárzás hatására hőmérséklet-különbség alakul ki a műszertest, az érzékelő lemez és az üvegbura között. Elektromos áram indul meg, melynek intenzitása szoros kapcsolatban van a sugárzás intenzitásával.

Lefelé fordítva a reflex (visszavert rövidhullámú) sugárzás mérhető. Két piranométer együttes alkalmazásával, közülük az egyiket felfelé, a másikat lefelé irányítva a globál és reflex sugárzás együttes mérése alapján az albedó is mérhető. E rendszert albedóméternek is hívják.

A piranométert szűrőkkel ellátva (fitopirantométer) a növényzet számára fontos fotoszintetikusán aktív sugárzás (Photosynthetically Active Radiation – PAR) mérhető.

A fotonhatáson alapuló piranométerek (melyek mérési spektruma jóval kisebb – pl. 300 és 1100 nm közötti, szemben a termoelektromos piranométerrel, melyek 300 és 2800-3000 nm között mérnek) a globálsugárzást a termoelektromos műszerekkel megegyezően mérik, de a reflexsugárzást már nem mérik pontosan.

A piranométerrel szórt sugárzás is mérhető. Ekkor a műszer érzékelője elől a Napot ki kell takarni a Nap mozgását követő eszköz segítségével.



Pirantométer felépítése.

Forrás: <http://slideplayer.hu/slide/2146871/> (letöltve: 2015.10.20.)

Pirgeométer: valamely féltérből érkező teljes hosszuhullámú sugárzás mérésére szolgáló műszer. Hőhatáson alapuló érzékelő. Nincs olyan anyag, amivel a rövidhullámú sugárzás úgy kiszűrhető lenne, hogy közben a hosszuhullámú sugárzást átengedje, ezért védőborítás nélküli műszert használunk. Csak éjszakai mérésre alkalmas szélcsendes időben.

Pirradiométer: egy vízszintes síkra a sík feletti féltérből érkező teljes (rövid + hosszuhullámú) sugárzás mérésére alkalmas műszer. A műszer szerkezete azonos a pirantométerével, csak üvegbúra helyett lupolen (szintelen műanyag fóliához hasonló anyag) burát alkalmazunk. Ez 0,3 és 60 μm között egyenletesen enged át a sugárzást. A búra szerepe a védelem.

Sugárzási egyenleg mérő (nettó pirradiométer): a teljes sugárzási egyenleg mérésére szolgáló műszer. A le és felfele haladó sugárzási áramsűrűség különbségét lehet meghatározni. Ehhez két, egymással ellentétes irányba mutató érzékelőre van szükség. A felfelé és lefelé néző érzékelőket egy műszerben helyezik el és a két felfogó test hőmérséklet-különbségéből származtatják a kimenő jelet. A pontos méréshez arra van szükség, hogy a két szenzor érzékenysége teljesen azonos legyen.

Napfénytartam mérő: a napfénytartam időtartamának meghatározására szolgáló műszer. Legelterjedtebb a Campbell–Stokes-féle napfénytartam mérő. Ez egy 96 mm átmérőjű, 1,52 törésmutatójú, finoman csiszolt üveggömb a gyújtólencse, ami a Nap sugarait összefókuszálva kitéti a gömb mögé helyezett papírszalagot. A napfénytartam mérő dél felé néz, földrajzi szélesség szerint megdöntve.

Különböző hosszúságú papírszalagot használnak a nyári, téli és az átmeneti évszakokban. Leolvasása óránként történik, amiből megállapítható, hogy hány tizedórát sütött a Nap.

Nap fotométer (spektrofotométer): a spektrális direkt sugárzás mérésére szolgál. A spektrális sugárzás mérésekor megfelelő szűrőket kell alkalmazni, hogy a műszerre csak azok a hullámhosszúságú sugárzások érkezenek, amelyeket mérni akarunk.

A légköri ózontartalom mérését Dobson-spektrofotométerrel, vagy korszerűbb Brewer-spektrofotométerrel határozzák meg.

3.2. Kompakt adatgyűjtők

A kompakt adatgyűjtők egyszerre több fizikai paraméter mérésére is alkalmasak lehetnek. A leggyakoribb a hőmérsékleti adatgyűjtő, emellett hőmérséklet és páratartalom, illetve hőmérséklet, páratartalom és fény mérésére képes szenzorokkal rendelkező eszközök.

Előnyeik:

- A kompakt adatgyűjtő műszerek gyorsan és egyszerűen telepíthetőek, felhasználóbarát.
- A mérési értékek nagyfokú biztonsága az adatok manipulációja ellen védett formátumban történő feljegyzése és a megbízható adattároló alkalmazása révén. Ezek miatt a feljegyzett mérési adatok az elemek teljes lemerülése esetén is leolvashatók.
- Több különböző kompakt adatgyűjtő rendelkezik kijelzővel, melyről a határérték átlépések könnyen leolvashatók.
- Az adatgyűjtők általában nagy kapacitású memóriával rendelkeznek, melynek köszönhetően akár 1 millió mért értéket is képes tárolni, 3 éves elemélettartam mellett. Ennek köszönhetően a műszer kiválóan alkalmas a hosszú távú mérésekre, még kisebb mérési intervallumokkal is.
- Nagy pontosságú mérési adatok: ± 0.5 °C ill. ± 2 %RH pontossággal, típustól függően akár -35-+55 °C közötti méréstartományban.
- Adattárolás SD kártyán vagy felhő-alapú szolgáltatással.
- Adatátvitel USB kábelen, Ethernet- vagy WiFi-kapcsolaton keresztül
- Különböző szoftver változatok közti választási lehetőség az adatgyűjtő konfigurálásához és leolvasásához: léteznek térítésmentes változatok, a mért adatok elemzésére képes szoftverek.

Hátrányaik:

- Fix kimenetesek – maximum 4 kimenet –, tehát sok mérési pont esetén rendkívül költséges lehet ezekkel a mérőműszerekkel történő mérési rendszer kiépítése.
- Korlátozottak a használat lehetőségei. Csak bizonyos adatok mérésére használhatóak. Ami nem teszi lehetővé minden fizikai paraméter egy rendszerben történő mérését.
- Egy-egy mérőműszer nem átalakítható, igényekhez igazítható, így beszerzés előtt mindenképp gondos tanulmányozásra van szükség.



KIMO kompakt adatgyűjtők
KISTOCK adatrögzítők
KH50 Páratartalom mérő
KP-110 Vezeték nélküli nyomás adatgyűjtő
Forrás: <http://www.kimo.hu> (letöltve: 2015.10.15.)

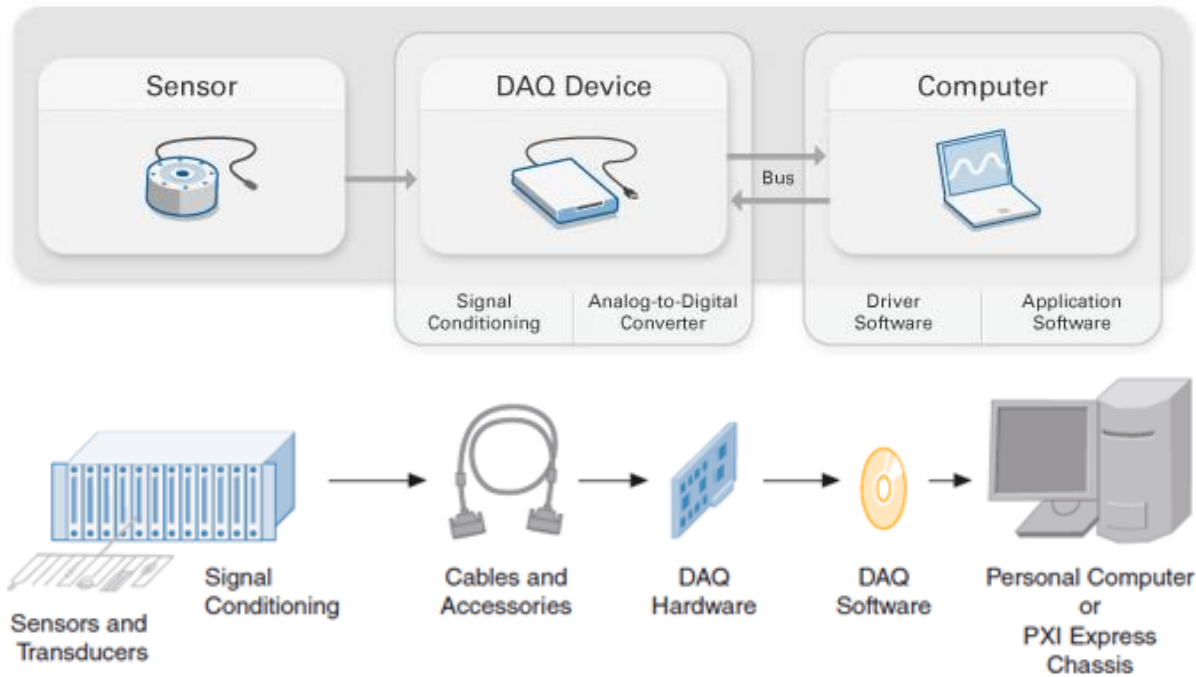


TESTO kompakt adatgyűjtők
TESTO 174H Mini hőmérséklet-, és páratartalom adatgyűjtő
TESTO 625 Kompakt hőmérséklet-, és páratartalom mérő
Forrás: <http://www.testo.hu> (letöltve: 2015.10.15.)

3.3. Egyedileg épített adatgyűjtő rendszerek

A mérésadatgyűjtő rendszerek alapvető feladata a valós világ fizikai jeleinek mérése, illetve ilyen jelek létrehozása. Mielőtt egy számítógép alapú rendszer megmérne egy fizikai jelet, egy érzékélővel át kell alakítani a fizikai jelet villamos jellé, amely lehet áram vagy feszültség.¹⁸

A számítógéphez illeszthető mérésadatgyűjtő kártyát rendszerint úgy tekintik, mint a teljes mérésadatgyűjtő rendszert, bár a kártya csak a rendszer egyik komponense.



Mérésadatgyűjtő rendszerek vázlatos felépítése

Forrás: <http://www.ni.com/getting-started/set-up-hardware/data-acquisition/pci-pxi> (letöltve: 2015.10.15.)

A számítógéppel megvalósított automatikus műszerek mindegyike eltérő működésű, és néha nem kapcsolhatjuk közvetlenül a fizikai jelet a mérésadatgyűjtő kártya bemeneteihez. Egy jelsűrítő és szintátalakító áramkörbe (berendezésbe) kell a mérendő jelet az átalakítás előtt bevezetni, majd ezután kell elvégezni az átalakítást digitális információvá. A mérésadatgyűjtő rendszerben programmal gyűjtjük össze a nyers adatokat, programmal analizáljuk őket és programmal jelenítjük meg a számítási eredményeket.

Amikor analóg jelet mérünk egy mérésadatgyűjtő kártya segítségével, a következő tényezőket kell figyelembe venni a digitalizált jel minősítésénél: a mérési mód (egyszeres kimenetű és differenciátípusú mérés), a felbontás nagysága, a jel erősítése, a mintavételezés sebessége és a zajok elnyomásának mértéke.

A felbontás a bitek száma, amelyet a mérésadatgyűjtő analóg-digitális átalakító (ADC = Analog to Digital Converter = Analóg digitális átalakító) használ, hogy az analóg jelet ábrázolja. Nagyobb felbontással nagyobb az adott mérési határok között a felosztások száma, és ezért kisebb az érzékelhető feszültségváltozás nagysága.

A mérési határok azok a minimális és maximális feszültség szintek, amelyek között az ADC a jel átalakítását végzi. A feszültség arányos a mért fizikai paraméterrel, az átalakítást a szenzor végezi. A mérésadatgyűjtő kártyák változtatható méréshatárokat (tipikusan 0-tól 10 V-ig; vagy -10 - +10 V-ig)

¹⁸ Dr. Lipovszki György: Jelfeldolgozás és számítógépes irányítás. Edutus Főiskola. 2012.

kínálnak, amelyek közül meg kell keresni azokat a méréshatárokat, amelyekkel adott felbontás mellett a legpontosabban mérhetjük meg a jelet.

A DAQ-kártyán (DAQ = Data Acquisition = Mérésadatgyűjtés) lehetséges mérési határok, a felbontás és az erősítés meghatározzák a legkisebb, érzékelhető bemeneti feszültség nagyságát.

A mintavételezés sebessége megadja, hogy egy analóg-digitális átalakítás milyen gyakran történik. Nagyobb mintavételezési sebesség mellett, adott idő alatt, több mérési pontot gyűjthetünk össze, és ezért jobb ábrázolást valósíthatunk meg, mint kisebb mintavételezési sebesség mellett. Minden bemeneti jelből a lehetséges legnagyobb mintavételezési sebességgel kell mintát vennünk, hogy a legpontosabban jeleníthessük meg az analóg jelet a számítógépben.

A hőmérséklet-átalakítók rendszerint nem kívánnak nagy mintavételezési sebességet, mivel a hőmérséklet a legtöbb alkalmazásban nem változik olyan gyorsan. Ezért egy kisebb mintavételezési sebességű kártya megfelelően tudja gyűjteni a hőmérsékleti adatokat.

Mikrokontroller:

Költséghatékonyan képes ellátni egyszerű, kis számítási teljesítményt és operatív tárat igénylő műveleteket. A tervezés során törekednek rá, hogy minél kevesebb járulékos alkatrészrel lehessen megoldani a feladatok legszélesebb skáláját amellet, hogy az eszköz fogyasztását, méretét és költségét minimalizálják. Ezt az integrált áramkör lábainak multiplex felhasználásával és beépített perifériákkal érik el. Az áramköri tok lábai programozhatóan kapcsolódnak a belső perifériák ki-bemeneteihez, vagy a mikrokontroller programja direktben beállíthatja/beolvashatja őket. A mai tipikus mikrokontroller 1-100MHz órajelen fut, 100byte-100kByte flash programtárat, és tucat Byte-tól néhány 100kByte-ig terjedő méretű RAM memóriát tartalmaz. Tipikus tápfeszültségük 1,8V - 3,3V - 5V, maximális áramfelvételük 100mA tartományban van, a tokozás lábszáma 8 és néhány száz láb közötti. A belső adatméret alapján 8, 16 és 32 bites mikrokontrollereket különböztethetünk meg.¹⁹

A mikrokontrollereket általában valós-idejű feladatokra használják, ahol valamilyen környezeti jelzésre nagyon rövid időn belül (általában ezred-másodperceken belül) reagálni kell. Általában nincs operációs rendszerük, hanem az adott cél-feladatra készített program fut a mikrokontrollerben.

A működtető program betöltése a mikrokontrollerbe vagy külön programozó készülékben, vagy ISP (In System Programming) módon a végleges áramkörbe beépített állapotban, illetve nagy szériánál a mikrokontroller előállításával egyidőben maszk programozással történik. A régi típusok egyszer voltak programozhatóak, de az új eszközök gyakorlatilag mindegyike Flash-ROM alapú programtárat tartalmaz, így akár sokezer beírás/törlés ciklust is elviselnek. A programozásuk gépi kódú utasításokkal, vagy a nagyobb mikrokontrollerek esetében magas szintű pl. C programnyelven történik.

Szenzorok:

Az érzékelő vagy szenzor olyan elem, amely egy mérendő tulajdonságtól függő jelet szolgáltat. A mérendő tulajdonság és a jel egyaránt lehet fizikai, kémiai, biológiai stb. jellegű. Fontos, hogy a mérendő tulajdonság, és az érzékelő által szolgáltatott jel egymásnak kölcsönösen egyértelmű függvényei legyenek.



Egyszerű szenzor működési elve.

¹⁹ Wikipédia: Mikrovezérlő. Elérhető az Interneten: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Mikrovez%C3%A9rl%C5%91> (2015.10.12.)

3.4. Meteorológiai állomások

Az automata meteorológiai állomás egy olyan meteorológiai állomás, melyen automatikusan történik a műszeres mérés és az adatok tárolása, vagy továbbítása. Az adatokat egy központi adatfeldolgozó egység gyűjti és dolgozza fel. Ez történhet a mérés helyén, vagy egy hálózathoz kapcsolódva egy hálózati központban.

Az automata meteorológiai állomás különböző mérőeszközökből, adatgyűjtő és feldolgozó egységből, valamint az ezekhez tartozó kiegészítőkből áll és gyakran automata mérőrendszernek is nevezik.

3.4.1. Az automata állomások csoportosítása

Valós idejű (real-time) állomások:

A valós időben szolgáltatják az adatokat (általában a beprogramozott időpontban, pl. óránként, esetenként vészhelyzetben, vagy külső lekérdezéskor).

Tipikus példák valós idejű állomásra a szinoptikus állomások, riasztó állomások (viharjelző, áradásjelző, dagályfigyelő állomások).

Közvetett (off-line) állomások:

A közvetett állomások eltárolják a mért adatokat a központi adatfeldolgozó egység memóriájában (adatgyűjtő). Az adatok tetszőleges időben lekérdezhetők (kábel, modem, rádiótelefon stb. segítségével). Az állomás kiegészíthető helyi megjelenítő rendszerrel is.

Tipikus példák közvetett állomásokra: éghajlati állomás, észlelő kiegészítő állomás.

Mindkét fajta (real-time és off-line) állomás adatai kiegészíthetők olyan észlelések bejegyzéseivel, melyek még nem automatizáltak (pl. jelen idő, elmúlt idő, felhőalap magasság, látástávolság stb.)

3.4.2. Az automata meteorológiai állomás hardver részei

Általában egy automata meteorológiai állomás a következő egységekből áll: szenzorok, központi adatfeldolgozó egység és perifériák.

Szenzorok a mérőtornyon, illetve a torony körül, megfelelő árnyékolással ellátva, és az adatfeldolgozó egységhez csatlakoztatva (pl. árnyékolt kábel, üvegszálas kábel, rádió jelek).

A jel alapján csoportosíthatjuk a szenzorokat:

- Analóg szenzor: a legtöbb szenzor ilyen, mely a mért állapotváltozót valamilyen elektromos jelle alakítja (feszültség, áramerősség, ellenállás). A felhasználás során a jelet végső soron feszültség jelekké konvertálja át a műszer.
- Digitális szenzor: pulzust számol, és ezt továbbítja az adatfeldolgozó rendszerbe (pl. szélmérő, billenőmérleges csapadékmérő stb.).
- Intelligens szenzor: a szenzor egy mikroprocesszor segítségével maga alakítja át a jelet valamilyen felhasználható formába és akár ki is jelzi azt.

Központi adatfeldolgozó rendszer: programozható rendszer, melynek feladatai a következők:

- Adatok gyűjtése, fogadása a szenzoroktól. Szükség esetén zajok szűrése, jelek erősítése. A szenzorok adatainak gyűjtése különböző csatornákon (analóg, digitális) történhet.
- Adatok átalakítása megfelelő formátumba (pl. egy sugázmérő szenzorról érkező feszültségjelek átkonvertálása W/m^2 mértékegységbe, kalibrációs függvények alkalmazása, különböző származtatott mennyiségek számítása stb.). Általában egy beépített matematikai co-processzor végzi ezt a feladatot.
- Az adatok átmeneti tárolása (a gyűjtési időszak hossza, amekkora adatmennyiséget el tud tárolni az adatgyűjtő, függ az adatgyűjtő kapacitásától, a tárolt mennyiségek számától és adtagyűjtés időbeli felbontásától).

- Adattovábbítás a felhasználóhoz.

Perifériák: az automata állomáshoz tartozó perifériák a mérések lebonyolítását, védelmét, az adatforgalmat hivatottak segíteni.

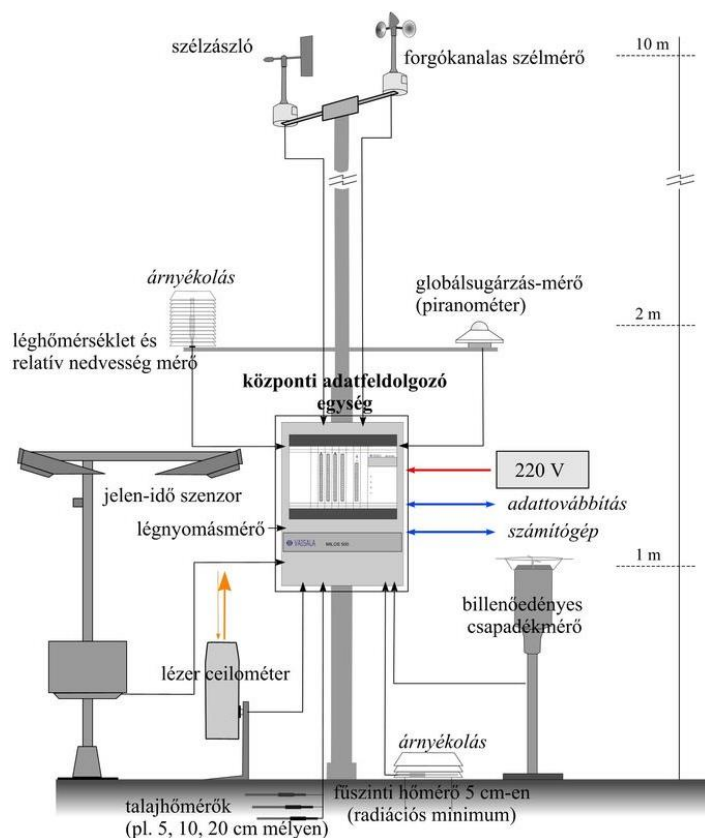
- Energiaellátó egység (stabilizált): 220V, 12V, vagy az adott műszerekhez szükséges feszültség.
- Óra: fontos, hogy az adatok gyűjtésének idejét pontosan határozzuk meg. A központi adatfeldolgozó egység óráját számítógéppel szinkronizálhatjuk.
- Számítógép: szerkesztéshez, helyi programozáshoz, adatok lekérdezéséhez.
- Megjelenítő rendszer (általában számítógép monitor).
- Egyéb számítástechnikai kiegészítők.
- Védelmi rendszerek (villámvédelem, statikus elektromosság elleni védelem, a műszerpark védelme mechanikai, elektromos eszközökkel).

3.4.3. Az automata meteorológiai állomás szoftver részei

Rendszerszoftver: Ez a központi adatfeldolgozó egység operációs rendszere. A felhasználó által általában nem módosítható, de parancsok adhatók.

Felhasználói szoftver: A felhasználó a felhasználói szoftver segítségével tudja vezérelni a központi adatfeldolgozó egységet. Itt állíthatók be egy egyedi programnyelv, vagy egy menüvezérelt kezelőfelület segítségével az adatgyűjtés, a tárolás, a lekérdezés paraméterei:

- beállítások (pl. időpont, gyűjtés sűrűsége, tárolás),
- mérési csatornák beállítása (melyik szenzor hova van kötve),
- a szenzorok kimeneti értékeinek átszámítása meteorológiai egységekké,
- átszámítások (pl. nedvesség számítás relatív nedvességből, tengerszinti légnyomás számítás stb.),
- matematikai műveletek (átlag, szórás, minimum, maximum értékek stb.),
- kézi adatbevitel (pl. jelen idő, egyéb vizuálisan észlelt adatok stb.)
- megjelenítés.



Egy tipikus automata meteorológiai állomás felépítése.

Vaisala MILOS500 automata

Forrás:

<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/ch07s07.html#d0e15247>

(letöltve: 2015.10.12.)

3.4.4. Többféle meteorológiai állomás létezik

A mezőgazdasági alkalmazásra tervezett meteorológiai állomás, minden gazdasági ágazatban alkalmazható, ahol időjárási adatok szükségesek a növénytermesztéshez - különböző szenzor-összeállításokban választható.

A meteorológiai állomások akár 80 szenzor csatlakoztatására is alkalmas, ezzel megfelel szinte minden jelenlegi kihívásnak a mikrometeorológia területén. Bármilyen feladathoz kialakítható – legyen az tűzvédelem, fagyriasztás, katasztrófavédelem, árvíz és orkán előrejelzés vagy hidrológiai management.

4. Mérőrendszer építése, tesztelése

Egyedileg építhető mérésadatgyűjtő rendszer használat mellett döntöttem. Hiszen ezek könnyen építhetőek, rugalmasan igényekhez alakíthatóak, egyszerűen programozhatóak és csatlakoztathatóak más eszközökhöz, valamint alacsony áruk miatt könnyen elérhetőek.

Azonban fontos megjegyezni, hogy bár a szükséges paraméterek mérésének nagy részéhez megfelelő ez a rendszer, egyelőre úgy tűnik, hogy önállóan kevés lesz. A szél milyenségének mérése még kérdéses, ugyanis az ismertetett rendszerhez csak légsebesség mérő szenzor csatlakoztatható, ami nem biztos, hogy elegendő. A nap besugárzásának méréséhez mindenképp külön szerkezetre lesz szükség.

4.1. Rendszer ismertetése, építés menete

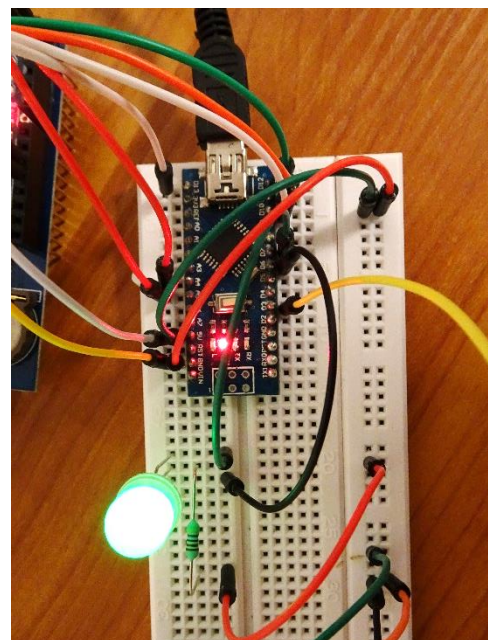
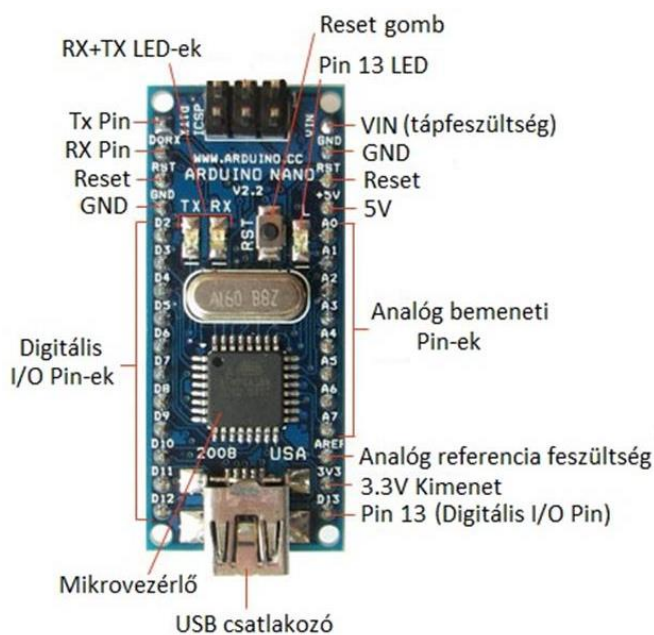
A mikrokontroller:

Az Arduino nevű mikrovezérlő családra esett a választás a mérési rendszer kiépítéséhez.

Az Arduino egy az Atmel AVR mikrovezérlő családra épülő, szabad szoftveres elektronikai fejlesztőplatform, arra tervezve, hogy a különböző projektekben az elektronikus eszközök könnyebben hozzáférhetőek, kezelhetőek legyenek.

Az Arduino panel a számítógéphez egy USB kábellel csatlakoztatható. Ezen keresztül történik a panel tápellátása, a mikrovezérlő programozása és a PC-vel történő kommunikáció. A panelen lévő mikrovezérlő több ezerszer újraprogramozható.

Az Arduino nemcsak a hardvert takarja, hanem az egész fejlesztőkörnyezetet is magában foglalja. A PC-n futó Arduino nevű programmal könnyen írható a mikrovezérlőre kód, ami gépi kódra történő lefordítás után az USB kábelen keresztül az Arduino panelre tölthető. A fejlesztőkörnyezet által használt Arduino programnyelv a C++ egy egyszerűsített változata, amely rengeteg beépített könyvtárat tartalmaz. Ezek a bonyolultabb programozási feladatokat nagymértékben leegyszerűsítik. Az Arduino panel programozásához nem szükséges ismerni a rajta található AVR mikrovezérlő részletes működését, mert a fejlesztőkörnyezet elfedi előlünk a hardvert. Ez nagyon megkönnyíti a kezdők dolgát is.



A tesztméréshez használt Arduino Nano panel.

A Nano panelen lévő tüskesort úgy alakították ki, hogy egyszerűen rádugható legyen egy dugdosós próbapanelre. Ezáltal nagyon egyszerűen, forrasztás nélkül egészen bonyolult kapcsolások is összeállíthatóak és tesztelhetőek.

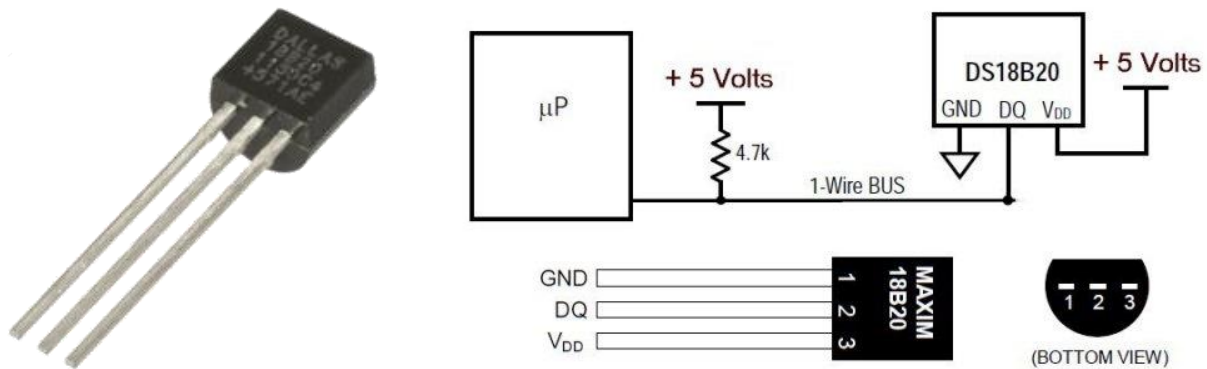
Forrás: <http://hobbyrobot.hu/content/arduino-kezdoknek> (letöltve: 2015.10.12.); saját kép.

A hőmérsékleti szenzor:

A DS18B20 egy nagy pontosságú, digitális hőmérsékletmérő szenzor, amely képes mérni a hőmérsékletet -55°C és $+125^{\circ}\text{C}$ között. A hőmérsékletet -10°C és $+85^{\circ}\text{C}$ között $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pontossággal, ez alatt és fölött $\pm 2^{\circ}\text{C}$ pontossággal méri. A felbontás 9, 10, 11, és 12 bit lehet, amelyek 0.5, 0.25, 0.125, 0.0625 $^{\circ}\text{C}$ -nak felelnek meg és 93.75, 187.5, 375, 750ms lekérdezési idővel járnak.

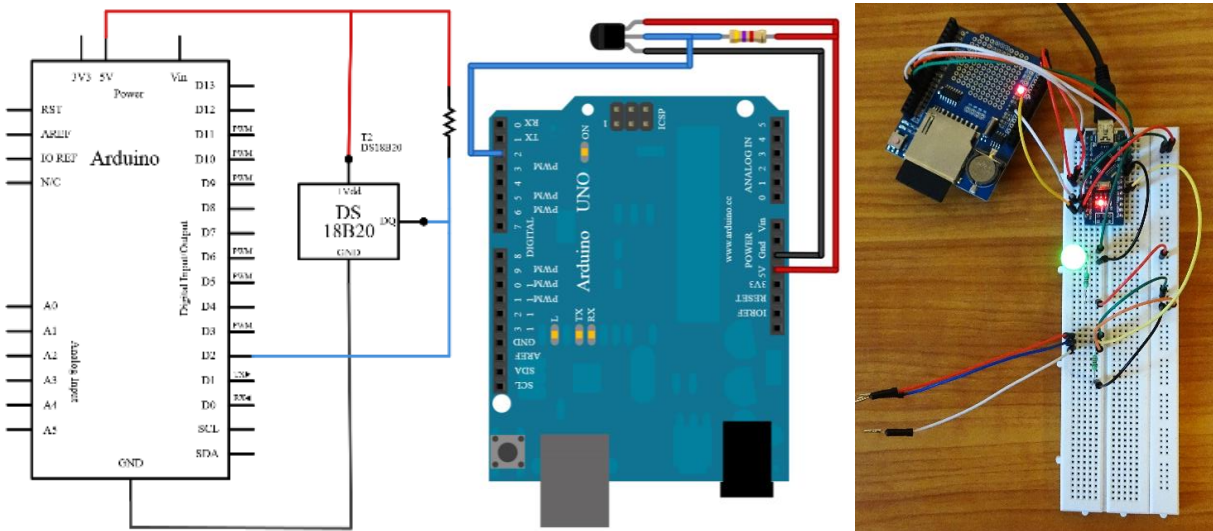
A DS18B20 szenzor Dallas 1-Wire buszon kommunikál²⁰, ezért könnyedén csatlakoztatható nagy számú szenzor akár Raspberry Pi-hez, akár Arduino-hoz, vagy bármilyen más Dallas protokollt beszélő mikrokontrollerhez.

A szenzor lábai: GND, DQ (Data), VDD. Működik 3.3 és 5V-ról is.



DS18B20 digitális hőmérsékletmérő szenzor.

Forrás: <http://malnaklub.hu/device/accessory/content/ds18b20-digitalis-homerseklet-mero-szenzor-dallas-1-wire-protokoll> (letöltve: 2015.10.12.)



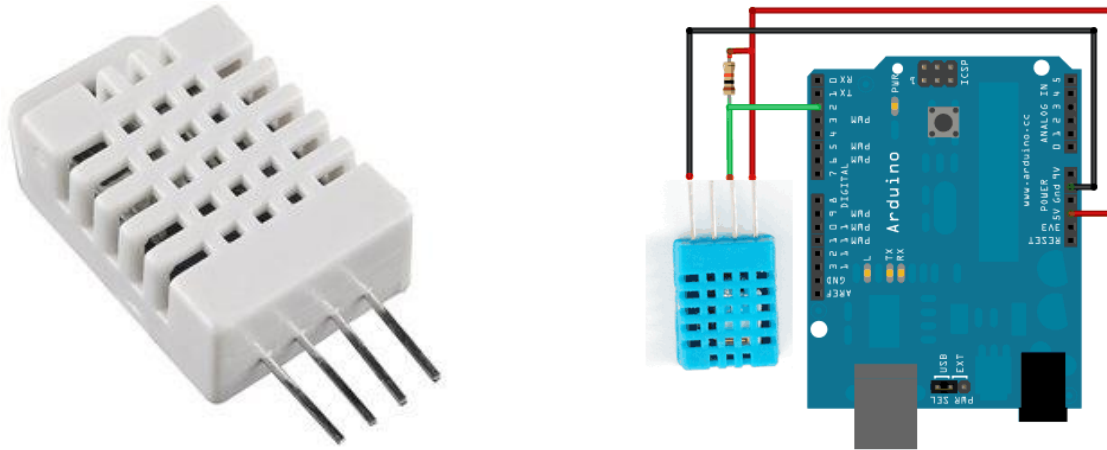
DS18B20 digitális hőmérsékletmérő szenzor bekötés Arduino áramkörti lapra.

Forrás: <http://fun-tech.se/FunTechHouse/RoomTemperature/> (letöltve: 2015.10.12.); saját kép.

²⁰ A 1-wire protokollt a Dallas Semiconductors cég fejlesztette ki. A neve onnan származik, hogy a kétirányú kommunikációhoz egyetlen jelvezeték szükséges – a föld és a tápfeszültségen kívül. Az 1-wire buszos hálózat soros kommunikációt használ. Amikor 3 vezeték használunk – ekkor a GND, DQ (adatvonal) és a +5V tápfeszültség is eljut a félvezető eszközhöz – akkor a buszrendszert 2-wire busznak kell neveznünk. (1-wire busz. 2010.07.13. Elérhető az Interneten: <http://www.tavir.hu/avr/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=28> (2015.10.10.))

Páratartalom-mérő szenzor:

A DHT22 digitális hőmérséklet és páratartalom mérő szenzor 4 csatlakozós tokozásban érhető el. 3-5 V közötti tápfeszültségről üzemeltethető. Környezetünk hőmérsékletét $-40-80^{\circ}\text{C}$ között $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pontossággal méri. A relatív páratartalom 0-100% közötti mérését 2-5% pontossággal végzi. A DHT22-es szenzor digitális kimeneten biztosítja a kalibrált mérési eredményeket mindkét mérés esetében. A szenzor 1 vezetékes Dallas kompatibilis protokollt használ.

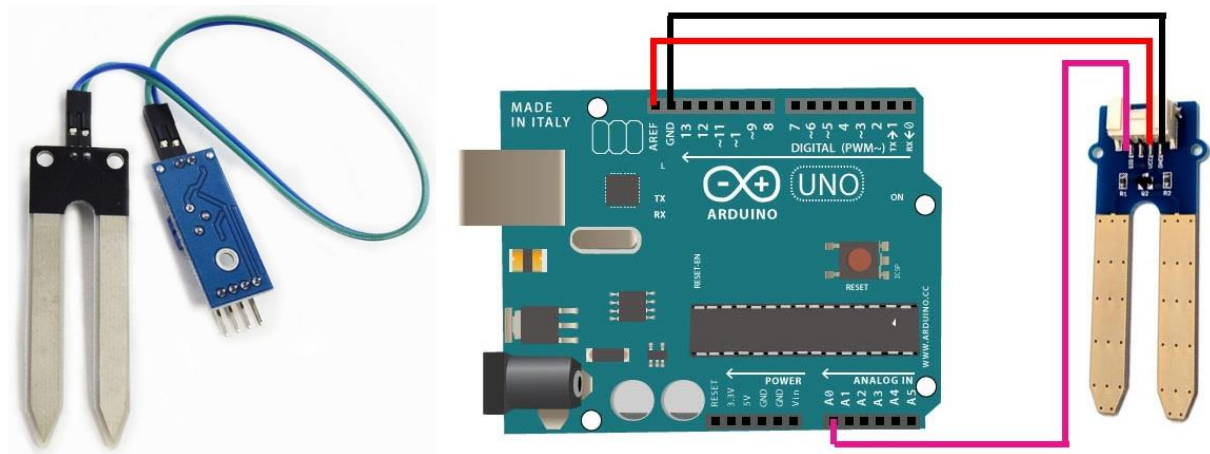


DHT22 digitális hőmérséklet- és páratartalom-mérő szenzor.

Forrás: http://www.elektromanoid.hu/ardu_17.html; <https://learn.adafruit.com/dht?view=all> (letöltve: 2015.10.12.)

Talajnedvesség-mérő szenzor:

Az elérhető talajnedvesség szenzorok analóg módon mérik a talaj ellenállását, és annak változásának függvényében változik a kivezetésükön mérhető feszültség. Az Arduino lapka analóg bemeneti pin-jére kötve 0-1024 közötti értéket olvashatunk le. A 1024 érték nedvességgel telítődött talajt jelez, míg a 0 érték teljesen száraz talajt. Az alkalmazott típus bekötéséhez GND, VCC és A0 szükséges.



FC-28 talajnedvesség-mérő szenzor.

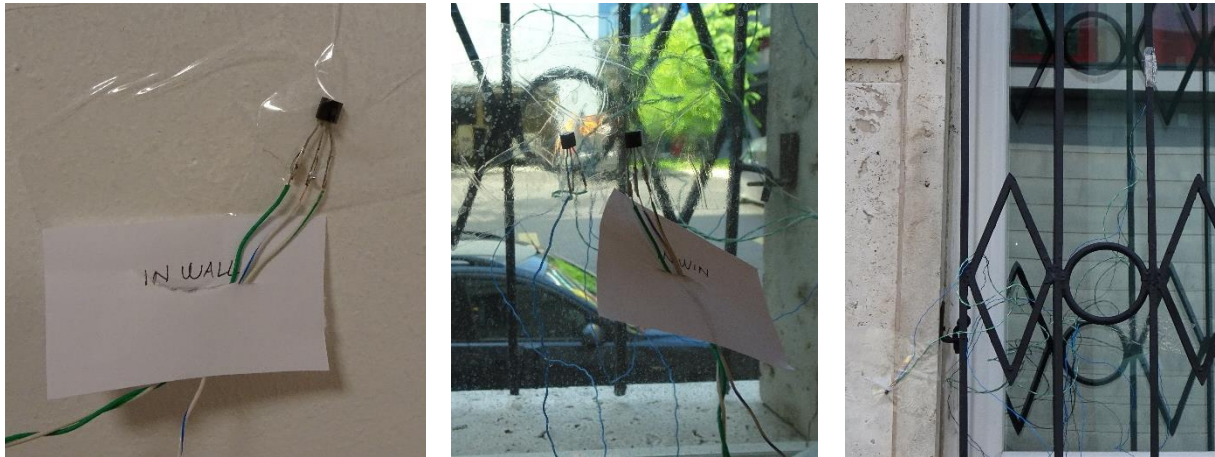
Forrás: http://www.elektromanoid.hu/ardu_17.html; <https://learn.adafruit.com/dht?view=all> (letöltve: 2015.10.12.)

A teszt:

A tesztelés egy ilyen rendszer használata, éles helyzetben történő alkalmazása előtt mindenképp tesztelést igényel, hogy az esetlegesen fellépő hibákat, pontatlanságokat még időben orvosolni lehessen.

A teszt áramkört úgy alakítottuk ki, hogy 6 db DS18B20 hőmérsékletmérő szenzort kapcsoltuk egy sorba. Egy helyiségben a külső és a belső oldalon mértünk fal és ablak felületi hőmérsékletét valamint léghőmérsékletet.

Emellett tettünk egy LED-et az áramkörbe. A LED zöld fénnel jelzi, hogy az áramkör éppen mérést vagy adatfeldolgozást nem végez, a piros fény jelzi, ha a rendszer éppen mérést végez, vagy adatokat ír az SD-kártyára. Fontos, hogy amíg piros a LED, addig ne vegyük ki a kártyát és ne áramtalanítsuk az áramkört, mert akkor a mért adatok nem kerülnek mentésre.



DS18B20 digitális hőmérsékletmérő szenzor elhelyezése. A szenzorokat ragasztószalaggal rögzítettük a mérendő felületre.

Forrás: saját képek.

4.2. A nem várt jelenségek – kockázatok kiemelése

Túlmelegedés:

Építés közben kiderült, hogy ha egy hőmérsékletmérőt és egy hőmérséklet- és páratartalom-mérőt egymás mellé kötünk, a hőmérsékletmérő kb. 0,5 °C-kal többet mutat.

A két szenzor azonos hőmérsékletről indult, azonban a hőmérséklet- és páratartalom-mérő szenzor bekapcsolás után egyre magasabb hőmérsékletet mér. Ennek orvosolására az első ötlet az adatkiolvasás sűrűségének csökkentése volt – így az áramfelvétel okozta melegedés kiküszöbölhető. 10 s – 20 s – 30 s 60 s-os kiolvasás esetén azt tapasztaltuk, hogy csökken a melegedés, de a 60 s-os kiolvasási időt tovább növelve a felmelegedés nem csökken tovább. Valószínűleg a nyugalmi állapotban történő teljesítményfelvétel okozhatja a mérési hibát. További vizsgálatokat végezve más szenzoroknál ezt a hibát nem tapasztaltuk. Így valamennyi felhasználni kívánt szenzort előzetesen tesztelni kellett, hogy azok melegedésre hajlamosak-e, a hibásakat nem lehetett felhasználni.

Adatolvasás felbontása:

Kezdetben 10 bites felbontásban kértük az analóg jelek átalakítását, azonban rájöttünk, hogy a 0,25 °C-os pontosság nem elegendő, így 12 bitre változtattuk a felbontás értékét. Ehhez fontos megjegyezni, hogy a felbontás növelése megnöveli a futási időt.

Mért adatok mentése:

Célszerűen úgy állítottuk be a műszert, hogy a fájl neve a mérés dátuma legyen, így egy esetleges hiba esetén „csak” egy napnyi adatot vesztenénk el.

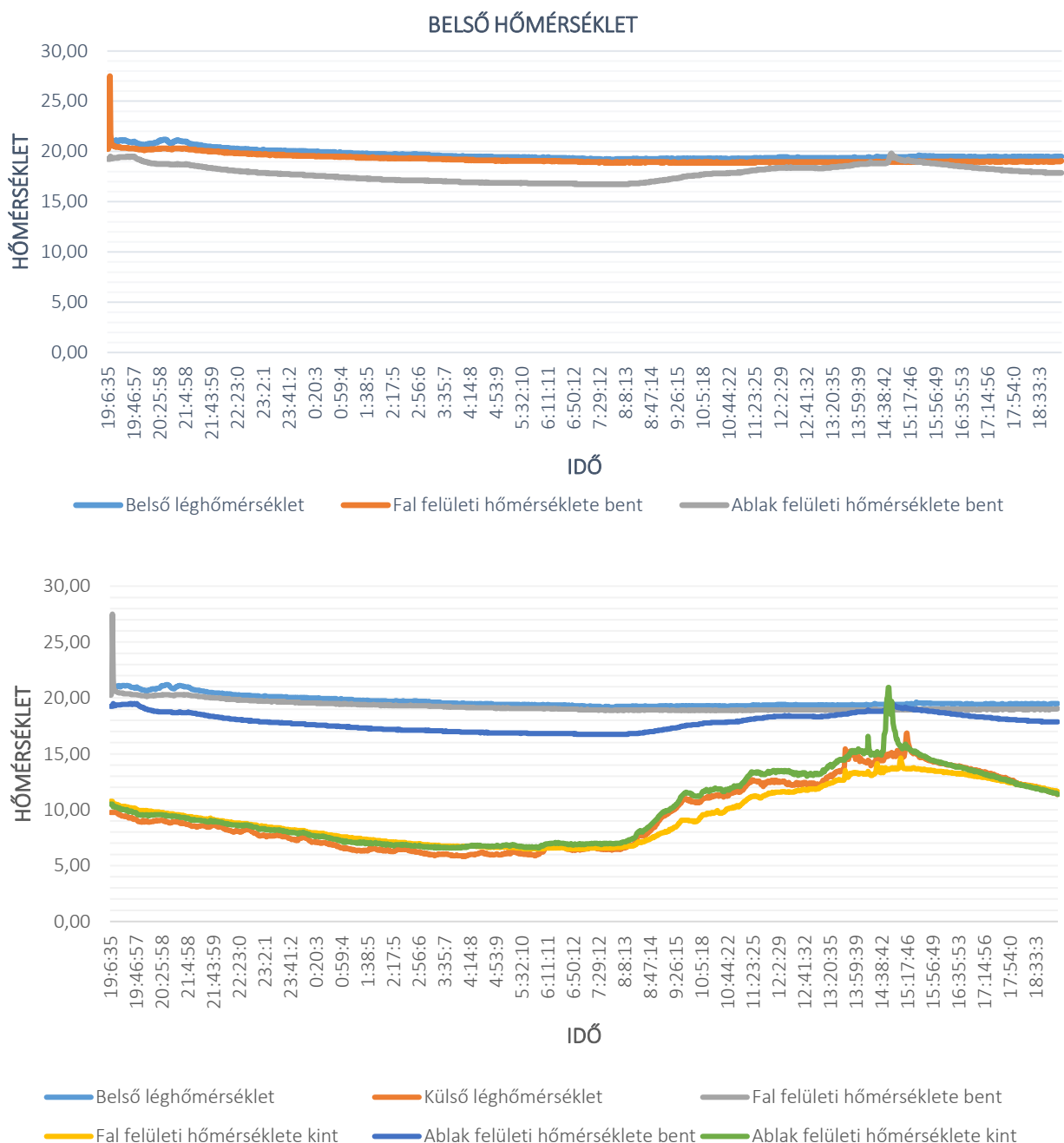
A teszt során rájöttünk, hogy a LED-et a mentés idejének jelzésén túl a mentés hibájának mutatására is használhatjuk. Így úgy módosítottuk a programkódot, hogy mentési hiba esetén folyamatosan piros fényel világít. Ez jelentősen gyorsítani tudja a hibás működés felismerését, és a beavatkozást.

4.3. Eredmények: egy teljes nap mérési adatai

Mivel a rendszer működőképességét kívánom itt bemutatni, maga a mért fizikai adatok nem relevánsak, így csak néhány diagramon ábrázolom a kapott eredményeket.

A teszt során kiderült, hogy a kiépített rendszer megfelelő. A pontosság és a változások gyors lekövetése tekintetében kielégítő eredményeket kaptunk. (A változások gyors lekövetésének bizonyítéka: a fal belső felületi hőmérsékletét mérő szenzort kis ideig a kezembe vettem, ezért a kiugró érték.) Emellett a gyors telepíthetőség is mindenképp a mérési rendszer előnyeként említhető.

A táblázatot a mért adatokról csatolom, a Függelékben megtalálható!



5. A tervezett mérési helyszín – a mintafalként szolgáló zöldhomlokzat bemutatása

5.1. A mintafal bemutatása – építés és szerkezet ismertetése

5.1.1. Adatok:

Helyszín: 2016 Leányfalu, Móricz Zsigmond utca 163.

Épületfunkció: töltőállomás.

Növényzettel beültetett szakasz mérete: 9,5 m széles, 4,59 m magas.

Tájolás: keleti irányú.

Áttörtsége: egy darab 80*180 cm méretű ablak található a zöldhomlokzati falszakaszon.

Átadás: 2012. június 1.

5.1.2. Működés:

Az épület a Duna mentén elhelyezkedő Leányfaluban található. A benzinkút megtervezésekor szem előtt tartották a legszigorúbb környezetvédelmi előírásokat, továbbá több innovatív megoldást is alkalmaztak az épületen, többek között a tárgyi zöldhomlokzatot is.

A homlokzaton egy magyar fejlesztésű zöldhomlokzati rendszer került beépítésre, mely kültéri viszonyokra lett kifejlesztve. Márkanéve: greenwall.pro.

A homlokzaton elhelyezett vízszintes rozsdamentes acél vázszerkezet hordja a szintén rozsdamentes acél anyagú modulokat. A modulok 4 sorban helyezkednek el egymás felett.



A greenwall.pro rendszer építés közben.

Forrás: <http://greenwall.pro/hu> (2015.08.25.)

A homlokzat mögött iroda és mosdó funkciók kerültek kialakításra, az irodai részen egy ablak beépítésével. Ezenkívül a fal egy szakasza szabadon álló falra lett megépítve.

A homlokzaton a Megrendelő kívánságára egy MOL logó részlet került megmintázásra, eredetileg három különböző színű Heuchera fajta felhasználásával.

Az öntözés teljesen automatizált, a drainvíz visszaforgatásra kerül egy földbe süllyesztett tartályba, ahol a tápoldat frissítése heti gyakorisággal történik vegetációs időszakban. A növények gyors és tiszta cseréje és pótlása könnyen megoldható.

A fal elsődleges funkciója mellett egyidejűleg tesztfelületként is szolgál; egyéb Heuchera fajtákat, homloklemez-típusokat, télen az élettani szárazság hatásait csökkentő technikákat és különböző tápanyag kombinációkat illetve egyéb üzemeltetéstechnikai eljárásokat tesztelnek rajta.

5.1.3. Szerkezet:

A rendszer lényegét tekintve vízszintes vázszerkezetre oldható kötéssel szerelt kazettákból áll. Egy-egy – 6 növény befogadására alkalmas – kazettát mindössze két csavar rögzít a vázszerkezethez, így csere vagy javítás szükségessé válása esetén ez igen könnyen és gyorsan megoldható. A kazetták öt oldalról

rozsdamentes acéllal határoltak a frontoldaluk azonban „nyitott”, a növények és az ültető közeg stabilitását egy színezett, lélegző festéssel felületkezelt, nagy testsűrűségű bazaltgyapot-lemezből kialakított homloklemez biztosítja, melyen át a levegő és a nedvesség szabadon áramolhat, így biztosítva az ideális gyökérklimát. Ültető közegként kertészeti perlit került a kazettákba.

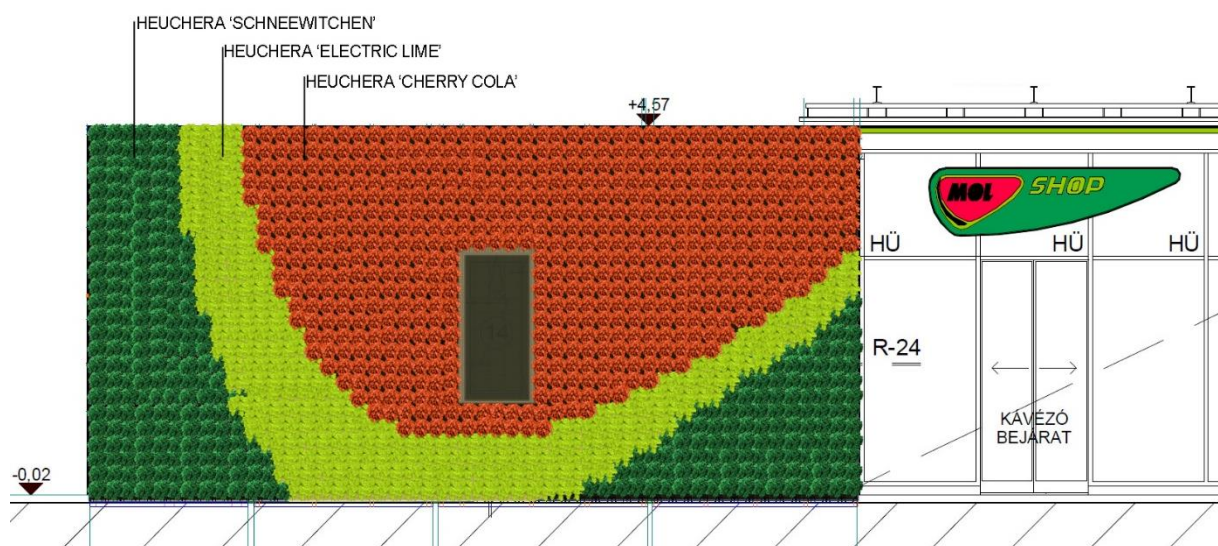


Volt szerencsém részt venni greenwall.pro zöldhomlokzati rendszer építésében, egy beltéri bemutatófalat szereltünk össze. A képeken jól látszik, hogy a szerkezet valóban könnyedén építhető és bontható. A kazetták kis méretüknek köszönhetően könnyen mozgathatóak és nem igényelnek bonyolult tartószerkezetet sem.

Forrás: saját képek. Készült: 2015.10.11.

5.1.4. Növényalkalmazás:

A rendszer kialakításából adódóan többféle típusú növényzet befogadására alkalmas, ebben az esetben a Heuchera nemzetség három fajtájára esett a választás, ezek színeivel a kívánt logó motívum jól lekövethető volt. A növények kiválasztásánál fontos szempont volt a homlokzat tájolása valamint a telepítési terület klimatikus adottságai.



Növénykiültetési és megvalósulási terv.

Forrás: <http://greenwall.pro/hu> (2015.08.25.)

5.1.5. Öntöző- és drain rendszer:

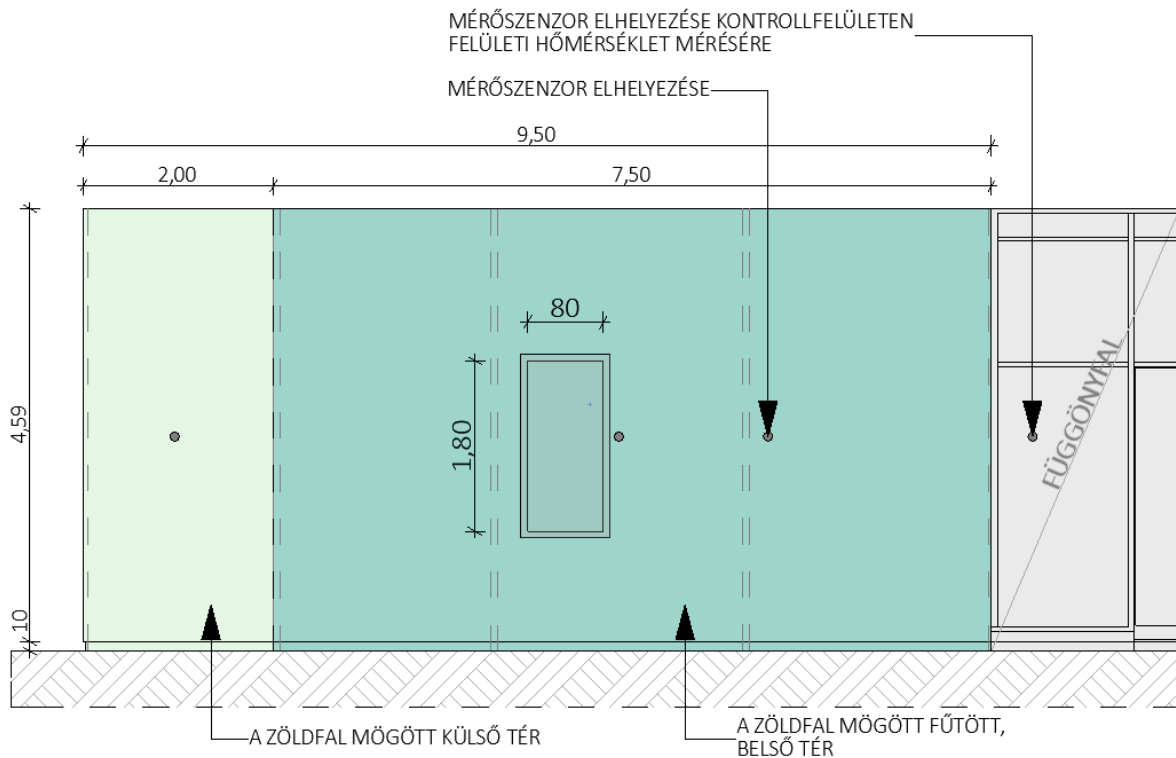
A növények a fejlődésükhöz szükséges vizet és tápanyagokat tápoldat formájában kapják meg, mely egyedi nyomásfokozó berendezés segítségével csepegtetőrendszeren keresztül jut el a növények gyökereihez. A tápoldat egy földbe süllyesztett tartályban kerül elkészítésre és szakaszosan, heti alkalommal kerül kijuttatásra.

5.2. Mérési pontok meghatározása

A fent ismertetett kutatások és tesztek eredményeképpen arra jutottam, hogy a következő fizikai adatokat kívánom mérni: hőmérséklet, páratartalom, talajnedvesség, szél, napsugárzás.

Ehhez a következő szenzorokra lesz szükség:

Mért fizikai mennyiség:	Mérés helye:	Méréshez használt szenzor:
Hőmérséklet	fal belső felületén	DS18B20
	fal külső felületén	DS18B20
	ültető modul belső síkján	DS18B20
	ültető modul külső síkján	DS18B20
	belső léghőmérséklet	DS18B20
	külső léghőmérséklet	DS18B20
Páratartalom	ültető modul mögötti légrétegben	DHT22
	növényzet lombozata közt	DHT22
	külső környezetben	DHT22
Talajnedvesség	ültetőközegben	FC-28



Terv a mérési pontok elhelyezésére. Kontrollpontnak megfelelőbb lenne egy zöldfallal megegyező tájolású, nem üvegfelület, azonban ilyen sajnos nincs!

Az ábra és a szerkezeti rétegtrenden belül felsorolt mérési helyek alapján meghatározhatjuk a szükséges szenzorok darabszámát:

- DS18B20 hőmérsékletmérő szenzor: 17 db;
- DHT22 páratartalom-mérő szenzor: 12db;
- FC-28 talajnedvesség-mérő szenzor: 1 db.

Emellett a szélesség méréséhez van még szükség érzékelőkre, ezeket a homlokzat előtt kell elhelyezni. Ennek pontos típusa még nincs meghatározva.

A sugárzás mérése csak külön eszközzel tud megvalósulni.

A rendszer megépítése heteken belül várható!

6. Következtetések, javaslatok

6.1. Összegzés

A tanulmányomban a nemzetközi szakirodalom vizsgálata alapján meghatároztam azokat a fizikai paramétereket, amelyek a zöldfalak és zöldhomlokzatok hőtechnikai viselkedésének vizsgálatában fontos szerepet játszanak.

Ezek a következők:

- hőmérséklet:
 - külső léghőmérséklet,
 - az ültető modul külső síkján mért hőmérséklet,
 - az ültető modul belső síkján mért hőmérséklet,
 - a fal külső felületi hőmérséklete,
 - a fal belső felületi hőmérséklete,
 - épületen belüli léghőmérséklet;
- páratartalom és párolgás:
 - külső levegő páratartalma,
 - a növényzet lombzatának szintjén mért páratartalom,
 - az ültető modul mögött mért páratartalom,
 - ültető közeg nedvességtartalma;
- szél, légmozgás;
- sugárzás:
 - beeső sugárzás, napsugárzás,
 - felületi sugárzások.

Miután megvizsgáltam ezeknek a mutatóknak a mérési lehetőségeit, arra jutottam, hogy az adatok legnagyobb részének mérésére egyedileg építhető mérésadatgyűjtő rendszer kialakítása lenne a legmegfelelőbb.

Az elérhető lehetőségek közül több szempontból is az Arduino-ra, egy az Atmel AVR mikrovezérlő családra épülő, szabad szoftveres elektronikai fejlesztőplatformmal rendelkező mikrokontroller családra esett a választásom.

A tesztmérés során bebizonyosodott, ez egy helyes döntés volt. Remélem, mielőbb lehetőségem lesz a bemutatott helyszínen történő kiépítésre és mérésre.

6.2. Tudományos kutatási javaslatok

A kutatásomat szeretném folytatni. Remélem, az általam ajánlott mérési rendszer megépítésére sor kerül. Így egyrészt a rendszer éles helyzetben történő tesztelése is megtörténne, valamint a szendvicspanel elé rögzített zöldhomlokzati rendszer hőtechnikai vizsgálata is elkezdődhet.

A mért adatokat épületenergetikai méretezési kérdések megválaszolására használhatjuk. Pl.: Milyen mértékben csökkenti a hűtési energiafelhasználást egy zöldhomlokzat? Milyen klimatikus viszonyok között érvényesül ez? Milyen mérhető fűtési energiafelhasználást csökkentő hatása van egy zöldfalnak? Energiatakarékosági szempontból megéri-e a zöldfalak üzemeltetése – hisz a karbantartási és öntözési költségek szerkezetétől függően nem elhanyagolható tényezők?

Ezekre a gazdasági és fenntarthatósági szempontból egyaránt érdekes kérdésekre a választ nemcsak a mérési rendszer használatával, hanem számítógépes modellezési technológiákkal, szimulációk futtatásával keresném. Így nem egy falra tehetünk számszerű megállapításokat, hanem a zöldhomlokzati rendszerekről kaphatunk általánosabb képet, leíró matematikai képleteket.

Fontosnak tartom, hogy elkészüljön egy zöldhomlokzati modell, mely a szimulációk futtatására alkalmas, s ennek a modellnek a validáláshoz jól felhasználható a dolgozatban tárgyalt mérésadatgyűjtő rendszer.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok Baráth Gézának és Tamási Alexandrának témavezetőimnek, hogy lehetőséget biztosítottak munkám sikeres elvégzéséhez és dolgozatom megírásához. Köszönöm segítőkész támogatásukat és dolgozatom alapos és kritikus átnézését.

Továbbá köszönetet mondok Dr. Juhász Péternek hasznos szakmai tanácsaiért és segítőkészségéért.

Gyenes Tamásnak külön köszönöm dolgozatom alapos nyelvtani átvizsgálását.

Hálával tartozom mindenkinek, akik lehetővé tették számomra, hogy ez a munka megszülethessen, külön köszönet illet minden családtagomat és barátomat, akik támogatták kutatásomat.

Irodalomjegyzék

A hőmérséklet mérése. Elérhető az Interneten: <http://meteor.geo.klte.hu/hu/doc/05homerseklet.pdf> (2015.10.07.)

A zöldfalakról. Elérhető az Interneten: <http://www.mohanyespafra.hu/products.html> (2015.10.03.)

Bardóczi Sándor: Kis növénytan óra: építészeknek. 2010.01.22. <http://epiteszforum.hu/nyomtatas/kis-novenytan-ora-epiteszeknek> (2015.10.09.)

Rabah Djedjig, Emmanuel Bozonnet, Rafik Belarbi: Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. In.: Energy and Buildings 86. 93–103. 2015.

Dr. Lipovszki György: Jelfeldolgozás és számítógépes irányítás. *Edutus Főiskola*. 2012.

Egyetemi jegyzet: Hőmérsékletmérés. Elérhető az Interneten: <http://www.fke.bme.hu/oktatas/meresek/> (2015.10.12.)

Finke, C. – Osterhoff, J.: Zöld homlokzatok. *Budapest, CSER kiadó*. 2002.

Hidrokulturás növényrendszer anyag- és energiamérlege. Elérhető az Interneten: <http://hu.helix-pflanzensysteme.de/de/content/articles/hidrokultur-as-noevenyrendszer-anyag-es-energiamerlege-68/> (2015.10.09.)

Homlokzati zöld. Elérhető az Interneten: <http://www.tetokertterv.hu/zoldhomlokzatok/homlokzati-zold> (2015.10.10)

Horváth Sára: Green Facades. Elérhető az Interneten: <https://www.educate-sustainability.eu/portal/print/811> (2015.10.03.)

Klíma felügyelet gyógyszerkészítmények raktározása során a Testo 175 adatgyűjtőkkel. Elérhető az Interneten: http://www.testo.hu/media/meromuszer_kepek/fajlok/saveris/TS_PS_Logger_Pharma_HU.pdf (2015.10.15.)

K.J. Kontoleon, E.A. Eumorfopoulou: The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment* 45. 1287–1303. 2010.

Mészáros Róbert: Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek. *Budapest, Eötvös Loránd Tudományegyetem*. 2013. Elérhető az Interneten: <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/> (2015.10.03.)

Pál János: Zöldtetők és zöldhomlokzatok. *Budapest, Levegő Munkacsoport*. 2005.

Pefe: A zöldfalakkal kiváltható a légkondicionálás. 2010. 09. 07. Elérhető az Interneten: http://zoldfal.blog.hu/2010/09/07/a_zoldfalakkal_kivalthato_a_legkondicionalas (2015.10.09.)

Pefe: Növényt a házra! De miért? 2010.10.11. Elérhető az Interneten: http://zoldfal.blog.hu/2010/10/11/novenyt_a_hazra_de_miért (2015.10.09.)

Radó Dezső: A növényzet szerepe a környezetvédelemben. *Zöld Érdek Alapítvány – Levegő Munkacsoport, Budapest*. 2001.

Tabassom Safikhani, Aminatuzuhariah Megat Abdullah, Dilshan Remaz Ossen, Mohammad Baharvand: Thermal impacts of vertical greenery systems. In.: *Environmental and Climate Technologies 2014/14*. 5-11. 2014.

D.J. Sailor: A green roof model for building energy simulation programs. In.: *Energy and Buildings* 40. 1466–1478. 2008.

Simon, A.: A meteorológiai megfigyelések és mérések rendszere. Meteorológiai megfigyelések, mérések és műszerek I. *Tankönyvkiadó, Budapest*. 1982.

Wikipédia: Hőmérő. Elérhető az Interneten:

https://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91m%C3%A9r%C5%91#F.C3.A9mrudas_h.C5.91m.C3.A9r.C5.91k (2015.10.12.)

Wikipédia: Mikrovezérlő. Elérhető az Interneten:

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Mikrovez%C3%A9rl%C5%91> (2015.10.12.)

Nyuk Hien Wong, Alex Yong Kwang Tan, Yu Chen, Kannagi Sekar, Puay Yok Tan, Derek Chan, Kelly Chiang, Ngian Chung Wong: Evaluation of vertical greenery systems for building walls. In.: *Building and Environment* 45. 663–672. 2010.

Zöld homlokzatok. 2010.04.16. Elérhető az Interneten: http://ezermester.hu/cikk-4505/Zold_homlokzatok (2015.10.09.)

Zöld szerkezetek. Szerk.: S.V. Szokolay. *Budapest, Ybl Miklós Műszaki Főiskola*. 1998.

Zöldhomlokzatok általában. Elérhető az Interneten: <http://greenwall.pro/hu/architecture/#section-3> (2015.10.03.)

Zöld Levél Program: Zöldülő városi homlokzatok. Kúszónövények. Elérhető az Interneten:

https://www.levego.hu/sites/default/files/kiadvanyok/kuszonov_0.pdf (2015.10.03.)

Zöldhomlokzatok külföldön és itthon. 2010.10.12. Elérhető az Interneten:

<http://tervlap.hu/cikk/show/id/247> (2015.10.10.)

1-wire busz. 2010.07.13. Elérhető az Interneten:

<http://www.tavir.hu/avr/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=28> (2015.10.10.)

Függelék

Tesztmérés - 1 órányi mért adat

Dátum	Idő	Belső léghőm.	Külső léghőm.	Fal felületi hőm. bent	Fal felületi hőm. kint	Ablak felületi hőm. bent	Ablak felületi hőm. kint
2015.10.22	19:6:35	21,00	9,75	20,25	10,75	19,25	10,50
2015.10.22	19:7:38	21,00	9,75	20,25	10,75	19,25	10,50
2015.10.22	19:8:40	21,00	9,75	20,50	10,75	19,25	10,50
2015.10.22	19:9:43	21,00	9,75	27,50	10,75	19,25	10,50
2015.10.22	19:10:46	21,00	9,75	21,75	10,50	19,50	10,25
2015.10.22	19:12:41	20,94	9,75	20,75	10,50	19,31	10,31
2015.10.22	19:13:44	20,94	9,75	20,69	10,50	19,31	10,31
2015.10.22	19:14:47	20,94	9,75	20,62	10,50	19,31	10,25
2015.10.22	19:15:51	20,94	9,75	20,56	10,50	19,37	10,25
2015.10.22	19:16:54	21,06	9,75	20,56	10,44	19,37	10,25
2015.10.22	19:18:28	21,06	9,69	20,50	10,44	19,37	10,19
2015.10.22	19:19:32	21,06	9,63	20,50	10,44	19,37	10,19
2015.10.22	19:20:35	21,12	9,56	20,44	10,38	19,37	10,13
2015.10.22	19:21:38	21,00	9,63	20,44	10,38	19,37	10,19
2015.10.22	19:22:41	21,00	9,56	20,44	10,31	19,37	10,06
2015.10.22	19:23:45	21,00	9,50	20,44	10,31	19,37	10,06
2015.10.22	19:24:48	21,06	9,44	20,44	10,31	19,44	10,00
2015.10.22	19:25:51	21,12	9,44	20,44	10,31	19,44	10,00
2015.10.22	19:26:55	21,12	9,44	20,44	10,31	19,44	10,06
2015.10.22	19:27:58	21,12	9,44	20,37	10,31	19,44	10,00
2015.10.22	19:29:1	21,12	9,44	20,37	10,25	19,44	10,00
2015.10.22	19:30:4	21,06	9,38	20,37	10,31	19,44	10,00
2015.10.22	19:31:8	21,06	9,38	20,37	10,25	19,44	9,94
2015.10.22	19:32:11	21,12	9,44	20,37	10,25	19,44	10,00
2015.10.22	19:33:14	21,12	9,44	20,37	10,25	19,44	10,00
2015.10.22	19:34:17	21,12	9,38	20,37	10,25	19,44	9,94
2015.10.22	19:35:21	21,06	9,25	20,37	10,19	19,44	9,81
2015.10.22	19:36:24	21,06	9,25	20,37	10,19	19,44	9,81
2015.10.22	19:37:27	21,06	9,25	20,37	10,19	19,50	9,88
2015.10.22	19:38:30	21,00	9,25	20,37	10,19	19,50	9,88
2015.10.22	19:39:34	20,94	9,31	20,31	10,19	19,44	9,88
2015.10.22	19:40:37	20,94	9,25	20,31	10,13	19,50	9,81
2015.10.22	19:41:40	20,94	9,25	20,31	10,13	19,44	9,81
2015.10.22	19:42:44	20,94	9,13	20,31	10,06	19,44	9,75
2015.10.22	19:43:47	20,94	9,13	20,31	10,13	19,50	9,75
2015.10.22	19:44:50	20,87	9,13	20,31	10,06	19,50	9,75
2015.10.22	19:45:53	20,87	9,19	20,31	10,13	19,44	9,75
2015.10.22	19:46:57	20,94	9,19	20,31	10,06	19,44	9,75
2015.10.22	19:48:0	21,00	9,06	20,31	10,00	19,50	9,63
2015.10.22	19:49:3	20,94	9,00	20,31	10,00	19,44	9,56
2015.10.22	19:50:6	20,87	8,94	20,25	9,94	19,37	9,56
2015.10.22	19:51:10	20,87	8,94	20,25	9,94	19,31	9,56
2015.10.22	19:52:13	20,81	8,94	20,25	9,94	19,25	9,56

adatozás felbontása: 10 bit

adatozás felbontása: 12 bit

2015.10.22	19:53:16	20,81	8,94	20,25	9,94	19,25	9,50
2015.10.22	19:54:19	20,75	8,88	20,19	9,94	19,19	9,50
2015.10.22	19:55:23	20,75	8,88	20,19	9,94	19,19	9,56
2015.10.22	19:56:26	20,75	8,88	20,19	9,94	19,19	9,50
2015.10.22	19:57:29	20,69	9,06	20,19	9,94	19,12	9,56
2015.10.22	19:58:33	20,69	8,94	20,19	9,94	19,12	9,50
2015.10.22	19:59:36	20,69	8,88	20,19	9,88	19,06	9,50
2015.10.22	20:0:39	20,69	8,94	20,19	9,94	19,06	9,50
2015.10.22	20:1:42	20,62	9,00	20,19	9,94	19,00	9,56
2015.10.22	20:2:46	20,62	9,00	20,12	9,94	19,00	9,50
2015.10.22	20:3:49	20,62	9,00	20,12	9,88	19,00	9,56
2015.10.22	20:4:52	20,69	8,88	20,19	9,81	18,94	9,50
2015.10.22	20:5:55	20,69	8,88	20,19	9,88	18,94	9,44
2015.10.22	20:6:59	20,69	8,88	20,19	9,88	18,94	9,50