



Városi lakókörnyezet javítása zöldszerkezetekkel 2.

V. Horn Valéria

BME, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, horn.valeria@emk.bme.hu

DOI: 10.56474/légkor.2023.4.4

Az éghajlatváltozás a belvárosi területeket fokozottan érinti. A hősziget hatás az ökoszisztéma helyreállításával mérsékelhető. A zöldszerkezetek alkalmazása a településen, az épületek környezetében és az épületek belsejében kedvező hatást gyakorolnak. Csökkentik a nyári hőterhelést, árnyékolnak, ezzel az épületek üzemeltetési energiáját mérsékelik. Csökkentik a légszennyezés mértékét, a csapadék jelentős részét visszatartják. A zöldtetők és zöldhomlokzatok típusai és épületszerkezeti megoldásai kerülnek bemutatásra.

Improving urban living environment with green structures

Climate change has an increased impact on inner city areas. The heat island effect can be mitigated by restoring the ecosystem. The use of green structures in the settlement, around and inside buildings has a positive impact. They reduce summer heat loads and provide shading, thus reducing the energy needed to operate buildings. They also reduce air pollution and retain a significant proportion of precipitation. Types and building construction solutions of green roofs and green facades are presented.

Zöldszerkezetek épületszerkezeti kialakítása

Zöldtetők

A zöldtetőket nemcsak lapostetőn, az épület zárófedémén alakítják ki, hanem ferde tetősíkon, belső udvarban, átriumban is megvalósíthatók (1. ábra).

A különböző zárórétanggal kialakított lapostetők nyári felületi hőmérsékletét összehasonlítva igen nagy eltérések mutathatók ki (2. ábra). A bitumenlemez fedés hőmérséklete a legnagyobb. Sok tetőn ún. könnyű felületvédelemmel ellátott zárórétetet alkalmaznak. Ez világos,

esetleg reflektáló bevonatot vagy homokolt zárórétetet jelent. A legalacsonyabb hőmérséklet öntözött zöldtetővel érhető el, amely a könnyű felületvédelemmel rendelkező tetőhöz képest is mintegy 15 °C-kal alacsonyabb felületi hőmérsékletet mutat (Kuttler, 2011).

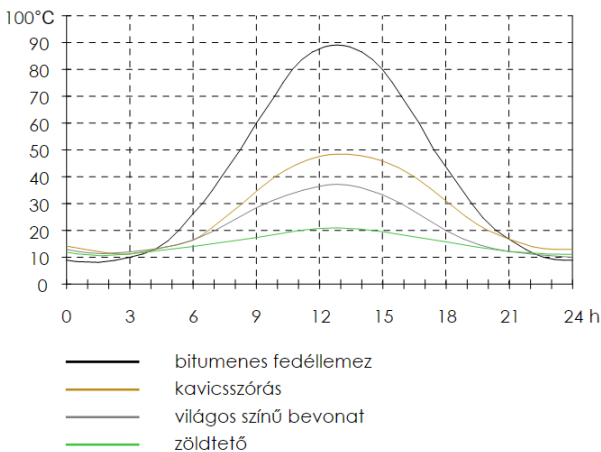
A zöldtető a fentebb említett kedvező hatásai mellett az épületszerkezeti rétegek védelmét is biztosítja. Azonban a zöldtető többlet-igénybevételt is jelent, a nedves rétegek tömege a tetőteher növekedését eredményezi, emiatt a zárófedém teherbírását növelni kell, továbbá a szélszívás miatt a magasabb bokrokat, fákat ki kell horgonyozni. Többlet igénybevételt jelent a kertészeti tevékenység, valamint



1. ábra. Zuglói bölcsőde zöldteteje ferde tetősíkon (forrás: tervlap.hu).

a gyökértevékenységgel szembeni védelemről is gondoskodni kell, (a gyökerek a vízszigetelést nem szakíthatják át).

A zöldtetők a szélsőséges hőmérsékleti viszonyok hatását mérsékelik. A vízszigetelés és a további rétegek hőterhelése – és ennek következtében az alakváltozásuk – mérsékelt marad, UV sugárzás nem öregíti a zárórétet, így a vízszigetelés kitettsége csökken. A zöldtető nagy tömege és a rétegek jelentős fajhője miatt a szerkezet hőtehetelensége nagy, azaz lassan melegszik fel. Ez a vízzel átitatott talajkeverékre fokozottan igaz, hisz a víz fajhője mintegy 5-szörös a leggyakrabban alkalmazott építőanyagokhoz (beton, téglá) képest. Emiatt a zöldtető alatti terekben a hőmérsékletingadozás is kisebb lesz.



2. ábra. Különböző felületű lapostetők felületi hőmérséklete Kuttler alapján.

A tető rétegfelépítésében a növényeket a kiszáradástól a vízgazdálkodási réteg védi, ez lehet pl. formahabosított drénlemez, geotextiliával kasírozott dombornyomott drénlemez, duzzasztott agyagkavics stb. Mindegyik nagy hézagterfogatall rendelkezik, ezáltal biztosítja a növények vízutánpótlását.

A zöldtetők csapadékvisszatartó képessége – átfolyási sebesség csökkenése – miatt a közműhálózatot kevésbé terheli. A zöldtetők az éves csapadékmennyiség mintegy 75%-át képesek visszatartani (Meyer, 2019). Csekély, 10 cm vastagságú földkeverékekkel rendelkező tető a lehullott csapadék 70%-át tudja visszatartani (Minke, 2016).

Nagy felületű zöldtetőkön (>1500 m²) tűzszakaszok kialakítása szükséges. A csatlakozó épületelemeket – mellvéd, tetőfelépítmény, felülvilágító – 50 cm szélességű kavicssávok választják el a vegetációs területtől (3. ábra).

A zöldtető tömegtöbblete miatt a tetőszerkezet lég-hanggátlását növeli elsősorban a közép és magasabb (300 Hz és 1 kHz) frekvenciatartományokban. Jang és társai laboratóriumi kísérleteket végeztek zöldtetők hanggátlásának megállíttására. 10 cm vastagságú talajkeverékből, elválasztó geotextiltől és 2,5 cm-es drénrétegből felépített zöldtető laboratóriumi körülmények között 10 dB léghanggátlás-javulást eredményezett (Jang et al., 2012). Ez helyszíni körülmények között 7 dB léghanggátlás-javulást jelent. Alacsony frekvenciákon, 100 Hz alatt a zöldtetőnek nincs jelentős hatása.



3. ábra. Felülvilágítókat elválasztó kavicssáv zöldtetőn.

Zöldtetők kialakítási szempontjai

A talajkeverék/szubsztrát vastagsága alapján a zöldtetők két csoportba oszthatók; az extenzív tetők 25 cm alatti, az intenzív tetők 25 cm feletti talajkeverékekkel rendelkeznek (4. és 5. ábra). A két tetőtípus rétegfelépítését mutatja a 6. ábra.

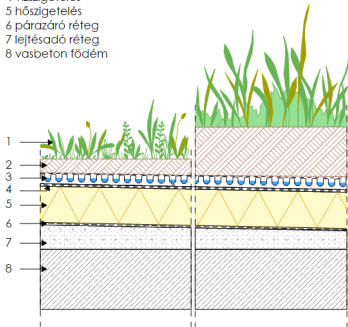


4. ábra. Extenzív zöldtető.



5. ábra. Intenzív zöldtető.

- 1 növényzet
- 2 talajkeverék
- 3 drén réteg/vízgyűjtő közeg
- 4 vízszigetelés
- 5 hőszigetelés
- 6 párazáró réteg
- 7 lejtésadó réteg
- 8 vasbeton födém

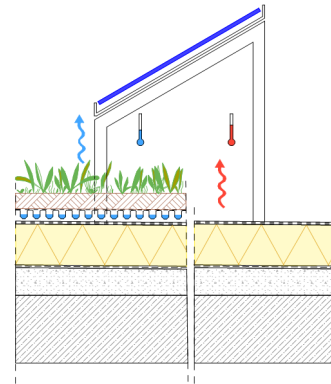


6. ábra.. Extenzív és intenzív zöldtető rétegfelepítése:
1. növényzet, 2. talajkeverék, 3. drén réteg/vízgyűjtő közeg, 4. vízszigetelés, 5. hőszigetelés, 6. párazáró réteg, 7. lejtésadó réteg, 8. vasbeton födém.

Extenzív tető

A szárazságtűrő pozsgás és varjúháj (sedum) fajokkal alakítják ki az extenzív tetőket. Kevés gondozást igényelnek, de az invazív fajokat ki kell gyomlálni a tetőről. A talajkeverék 10–25 cm vastagságú. A varjúháj fajok párologtatása sokkal kisebb a nagylevelű

növényekhez képest. Az extenzív zöldtetők jól kombinálhatók a napelemekkel, árnyékolják a tetőt (7. ábra). Továbbá a modulokat ez a kisebb mértékű párologás hűti, ez némi hatásfokjavulást eredményez (Schmauck, 2019).



7. ábra. Napelem hatékonyabb működését biztosító zöldtető.

Intenzív tető

A talajkeverék 40–80 cm-t is elérheti, vastagabb földrétegbe kisebb fák, cserjék beültethetők. A fűtők is az intenzív tetőkhöz tartoznak. Rendszeres vízutánpótlást és gondozást igényelnek. Nemcsak az épületek zárófödémén, hanem mélygarázsok tetején is jól kialakítható. Társasházak tetején közösségi kerteként is létesíthetők intenzív zöldtetők.

Az épületek beltéri komfortját is jelentősen befolyásolják, a hűtési/fűtési energia igényt mérsékelik. Az intenzív zöldtetők hőszigetethatás csökkentése a dús növényzet transzpirációjának köszönhető. Ez az extenzív tetőkre nem érvényes.

Zöldhomlokzatok

Belvárosi területen a kialakult utcahálózat és az épületek elhelyezkedése miatt csak bontással vagy magánterületek használatbavételével lehetséges további zöldterületeket nyerni. A homlokzatok zöldhomlokzatokká történő átalakítása jó lehetőséget biztosít a zöldfelületek növelésére, hiszen területük jóval nagyobb felületet lefedhet, mint a tetők. A növényzet telepítésével csökken a homlokzatot érő szélsőesség. A levelek között a szélsőesség mérséklődik, ezt befolyásolja a levelek sűrűsége és felszíne. Építészeti szempontból kedvezőtlen homlokzatoknál, tűzfalaknál előnyös megjelenést biztosít. (A lombhullató növények évszakos levélszín változása ezt tovább fokozza, 8. ábra).



8. ábra. Panel épület talajról felfuttatott növényzettel.

A zöldhomlokzatok közvetlen környezetüket pozitívan befolyásolják, viszont hősziget csökkentő hatásuk nincs. Megfelelő növényfedettség esetén az árnyékoló hatás, a levelek transzpirációja, továbbá a levélzet és az épület homlokzati síkja között áramló légréteg csökkenti a falszerkezetre eső hőáram nagyságát és ezzel a szomszédos épületekre történő kisugárzást is. Nyáron a levelek a fototropizmus következtében fény felé fordulnak. A növények páratermelését a mozgó levegő eltávolítja. Ha a kúszónövény a homlokzati sík elé szerelt vázszerkezetre kapaszkodik, akkor ez a telepítés hasonlóképpen „működik” mint az ún. kéthéjú homlokzatok. Ott a burkolat és a fal vagy üvegszerkezet között légréteg van, a burkolat alján és tetején nyílást alakítanak ki, ezáltal a burkolat mögött beindul a levegő felfelé áramlása, azaz konvekció útján a homlokzat hőterhelése csökken. Télen az örökzöld levelek egymásra takarásával erősen lecsökken, vagy megszűnik a légáramlás. Ennek következtében a külső oldalon a hőátadás minimalizálódik.

Az épületenergetikai méretezésben a nyugvó légréteget, mint többlet hőszigetelést lehet számításba venni (Pataky, 2017). A nyugvó légréteg hővezetési ellenállás növekménye, $\Delta R \sim 0,09 \text{ m}^2\text{K/W}$ értékkel vehető fel (Perini és Ottelé, 2014). Közvetlenül a falra kapaszkodó növények egyhéjú réteges szerkezetnek minősülnek, ezért a páratechnikai méretezésük rendkívül fontos. A lábhatók elé ültetett cserjék további előnye, hogy mérsékelik a csapóeső hatását. Örökzöld és lombhullató fajok egyaránt használatosak.

A többszintes épületeknél a zöldhomlokzatok hűtőhatása – a geometriai viszonyok miatt – akár nagyobb is lehet, mint a zöldtetőké. Kirschbaum és munkatársai kimutatták, hogy a zöltszerkezetek alkalmazásával beltérben a 25°C feletti napok száma felére csökken. Az épület környezetében lévő fák és a zöldhomlokzat a napközbeni hőstresszt is mérséklék. Városi léptékben a növények és a vízfelületek párologtatásával $0,5\text{--}1,3^\circ\text{C}$ közötti hűtési potenciál érhető el. Ehhez a csapadékvíz visszatartása és tárolása elengedhetetlen (Kirschbaum et al., 2019).

A zöldhomlokzat kialakításához csekély alapterület elegendő. Telepítését befolyásolja a homlokzati fal műszaki állapota, a tájolás, a szélirány, az árnyékoltság, a klíma, a talajviszonyok, valamint az azt körülvevő járda és az ott vezetett közművek. A terület adottságait figyelembe véve lehet a növényeket, a talajkeveréket kiválasztani, – hasonlóképp a zöldtetők esetében is –, mindez kerttervezői feladat. A telepítéshez ismerni kell az ültetési sűrűséget, növekedési ütemet, fény-, öntözési-, tápanyag- és gondozási igényt stb.

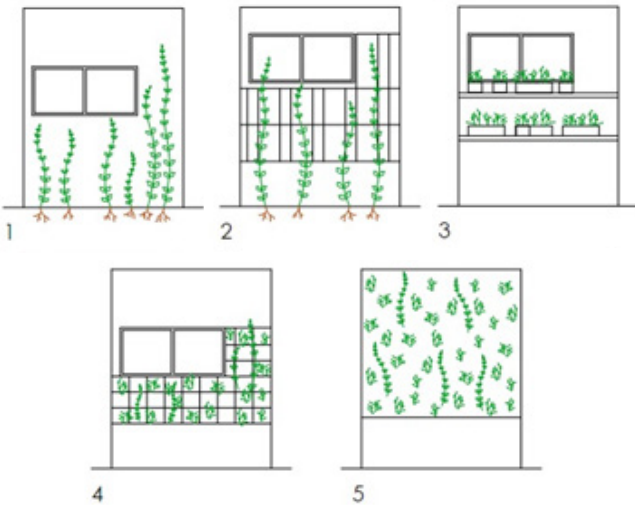
Zöldhomlokzatok típusai

A zöldhomlokzatokat a segédszerkezet alkalmazása és a gyökérzóna helyzete alapján kategorizálják. Így az épülethez csatlakozó talajban gyökerező közvetlenül a falra kapaszkodó kúszónövényes telepítésről beszélhetünk, amennyiben a homlokzati fal műszaki állapota és a tájolás megfelelő, a kúszónövények az épület lábazata elé telepíthetők. Ha a falszerkezet nem alkalmas arra, hogy a növények rákapaszkodjanak, akkor ez segédszerkezettel kiváltható. A támszerkezetet, mint tartószerkezetet méretezni kell. A támszerkezet anyaga lehet rozsdamentes acél, bevonatolt acél, alumínium, fa vagy műanyag. Kialakításuk szerint lehetnek létrák, rácsok, hálók vagy egymással párhuzamosan vezetett drótszálak is.

A zöldhomlokzatok másik nagy csoportja a csatlakozó talajtól független, valamilyen ültetőrendszerben gyökerező növények (9. ábra). Két főcsoportja az ültetőedényes és a függőleges gyökérzónás rendszer.

Ültetőedényes rendszer

Kerámia-, műkö-, műanyag- vagy fémkazettákba ültetik be a növényeket. Az ültetőedények egymás fölötti távolságát a növények mérete és fényigénye határozza meg. Az ültetőedényeket konzolok horgonyozzák a homlokzati falhoz, itt fut a növények víz- és tápanyagellátó vezetéke.



9. ábra. Zöldhomlokzat típusai: 1. talajban gyökerező kúszónövény falra futtatva, 2. talajban gyökerező kúszónövény támszerkezetre futtatva, 3. ületetődényes zöldhomlokzat, 4. modulrendszer vegetációs zónával.

Függőleges gyökérváz rendszer

Két főbb típusa van: drót- vagy műanyagváz (HPDE) modulokba ültetett rendszer, valamint geotextil felületbe ültetett rendszer.

A modulokba/kazettákba helyezett talajkeverékbe ültetik a növényeket, vastagságuk min. 20 cm. A homlokzati fal vízszigetelést igényel, valamint a fal és a modulok között átszellőzést kell biztosítani, továbbá a modulok cserélhetősége is fontos szempont. Az átszellőzés optimális légréteg vastagsága 40–60 mm (Perini, 2011). Magas épületeknél az átszellőzés mértékét számítással kell meghatározni.

A geotextil felületbe ültetett rendszernél az elemeket tartóváz horgonyozza a falhoz. Nagyobb méretű – pl. 1×2 m-es alumínium vagy műanyag táblákkal alakítják ki. A hordozóelem elé műanyag szövet (geotextil) borítás kerül. A növényeket a műanyag szövetbe hasított „zsebekbe” telepítik. A növények termőtalaj helyett ipari filcbe, kőzetgyapotfilcbe, kőzetörleménybe vagy más szemcsés anyagba kerülnek, amelyek a vizet és tápoldatot tárolják. Az elemeket nem látható módon az ellátóvezetékkel kapcsolják össze (Pfoster et al., 2013), ezáltal hidropónikus rendszer alakul ki.

A felületi beültetésű rendszer az előbbiekhöz képest sokkal körültekintőbb tervezést igényel, fenntartása energiaigényesebb. Hatásuk azonban kimagasló. Ezt példazzák Patrick Blanc „függőleges kertjei” (10. ábra). Zöldfalak több rendszer ötvözésével is attraktívan kialakíthatók.



10. ábra. Felületi beültetés függőleges vegetációs zónával Párizs, Quai Branly Jacques Chirac Múzeum.

A zöldhomlokzatok legnagyobb hőmérséklet-csökkentő hatása a földrajzi szélességtől függetlenül a déli homlokzatokon mutatható ki. Perini azonos tájolású épületek külső hőmérsékletváltozását vizsgálta zöldhomlokzat nélküli, közvetlenül a falra kapaszkodó, illetve támszerkezeten kúszó borostyánnal. Ez utóbbi esetben 1,5 °C-kal alacsonyabb lég hőmérsékletet mért, mint a közvetlenül falra kúszó zöldhomlokzatnál és 2,7 °C-kal volt alacsonyabb, mint zöldhomlokzat nélküli felületen.

A zöldhomlokzatok eltérő mértékben csökkentik a homlokzatra jutó szél sebességét. A falszerkezet hőszigetelő-képességének kismértékű javulása az egymás fölé szorosan elhelyezett növénykazetták esetén kimutatható, más rendszereknél ez minimális (Perini és Ottelé, 2014). Télen a függőleges gyökérváz zöldhomlokzatnál állapítható meg a legnagyobb belső felületi hőmérséklet, ez 4 °C-kal magasabb, mint a burkolatlanul hagyott homlokzat mögötti helyiségnél mérték (Perini, 2011).

Életciklus

Életciklus elemzés szempontjából egyértelmű, hogy a közvetlenül a talajban gyökerező zöldhomlokzatok minősíthetők a legfenntarthatóbbnak. A segéd-szerkezetek gyártási energiaigénye nagyon eltérő lehet (pl. rozsdamentes acélháló ↔ farács). Perini és Ottelé kutatásai szerint mérsékelt éghajlaton a támaszrendszerekre telepített zöldhomlokzatok környezet-terhelése nagyobb, mint a fűtési energia-megtakarítás, viszont mediterrán éghajlaton a hűtési energia-megtakarítása

futónövény támszerkezet nélkül	futónövény támszerkezettel	ültetőedényes rendszer	modulrendszer	felületi beültetés
talajban gyökerező			tereptől független	
talajvizsgálat		-	-	-
tartószerkezet vizsgálata (homlokzati fal, váz - önsúly, növényzet, szubsztrát + meteorológiai terhek)				
			statikai számítások	
			támszerkezet minden eleme korrózióálló	
			homlokzati falszerkezethez való lehorgonyzás hőhidmegszakítást igényel	
			távolság a falsíktól	
locsolási igény			víz- és tápanyag utánpótlás	
			homlokzat nedvesség és gyökér védelme	

1. táblázat. Zöldhomlokzat típusokra vonatkozó telepítési követelmények

miatt környezeti terhelése alacsonynak minősíthető (Perini és Ottelé, 2014). Az épületek és környezetük környezetbarátabbá tételének vannak anyagi vonzatai. A talajban gyökerező kúszónövény telepítése és fenntartása a legköltséghatékonyabb. Ugyanakkor a kúszónövények évek alatt érik el a megfelelő magasságot és sűrűséget. Felületi beültetéssel a szerkezet átadásától biztosítható a kívánt növénytűrűség, azonban ez a legdrágább zöldhomlokzat típus.

Gondozási igény

A talajban gyökerező kúszónövény viszonylag kevés gondozást igényelnek. Az épülethez csatlakozó talajba történő beültetés feltétele a megfelelő minőségű talaj és a csapadék mennyiségétől függő vízutánpótlás. Az ültetőedényes, modul és függőleges gyökérszítás telepítések gondozási igénye jóval nagyobb. A homlokzati teher csökkentése miatt jó víztároló képességű, kis sűrűségű megoldások alkalmazása indokolt. A víz- és tápanyag-utánpótlást csepegtető öntözés biztosítja, mely rendszeres karbantartást igényel. Meg kell jegyezni, hogy létráról max. 5 m magasságig lehet a vezetékrendszer felülvizsgálni. Ennél magasabb zöldhomlokzatok karbantartásához autódaru szükséges. Vizsgálatok kimutatták, hogy tavasszal a növények harmadának újratelepítése általánosnak tekinthető (Köhler, 2015).

Épületszerkezeti szempontból gondos tervezést és kivitelezést igényelnek a nyílászárók körüli zöltszerkezetek csatlakozások, a vízhatlanságot kell biztosítani, továbbá a nyílászárókat szúnyoghálóval kell ellátni.

A zöltszerkezetek klimatikus hatása miatt a belvárosi területeket élhetőbbé teszik, környezeti minőségüket és a területek értékét növelik, sok esetben az épületek

fenntartásai energiaigényét is csökkentik. A zöltszerkezetek az ott lakók, dolgozók komfortérzetét és egészségét növelik, az életminőséget pozitívan befolyásolják.

Irodalom

Jang, H.S., Kang, J. and Choi, M.S., 2012: Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. *Build. Environ.* 50, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.004>

Kirschbaum, B., H. Sieker, R. Steyer, B. Büter, D. Lessmann, R. von Tils, C. Becker & S. Hübner, 2019: Maßnahmen zur Hitzestress-Reduzierung anhand Verdunstungsabkühlung. In: (Hrsg. Lozán J.L. S.-W. Breckle, H. Grassl, W. Kuttler und A. Matzarakis). *Warnsignal Klima: Die Städte.* 227–232.

Köhler, M., 2015: Wandgebundene Begrünungen Quantifizierungen einer neuen Bauweise in der Klima-Architektur, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL Schriftenreihe Forschungsvorhaben) 2015/1

Kuttler, W., 2011: Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Massnahmen, Environmental Sciences Europe 2011, 23:21 <http://www.enveurope.com/content/23/1/21>

Meyer S., B. Gabriel, R. vom Lehn und P.-D. Hansen: Einfluss von Bauwerk-begrünung und Wohnumfeldgrün auf die menschliche Gesundheit. In: (Hrsg. Lozán J.L. S.-W. Breckle, H. Grassl, W. Kuttler und A. Matzarakis). *Warnsignal Klima: Die Städte.* 213–220.

Minke, G., 2016: Dächer begrünen – einfach und wirkungsvoll, Ökobuch Verlag (Staufen), 6. erweiterte Auflage.

Pataky R., 2017: Zöldhomlokzatok. Fővárosi Önkormányzat, ISBN:978-963-12-8006-7.

Perini, K., Ottelé, M. . Fraaij, A.L.A, Haas, E.M, and Raiteri, R., 2011: Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Build. Environ.* 46, 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>

Perini, K. & Ottelé, M., 2014: Design green façades and living wall systems for sustainable constructions. *Int. J. Design Nat. Ecodynam.* 9, 31–46. <https://doi.org/10.2495/DNE-V9-N1-31-46>

Pfoser, N., Jenner, N., Henrich, J., Heusinger, J., Weber, S., Schreiner, J., und Unten Kanashiro, C., 2013: Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen, Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. TU Darmstadt, 2013

Schmauck, S., 2019: Dach- und Fassadenbegrünung – neue Lebensräume im Siedlungsbereich, Fakten, Argumente und Empfehlungen, Bundesamt für Naturschutz, Leipzig. <https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/service/Dokumente/skripten/skript538.pdf>