

## ACOPERIȘURI VERZI – PROBLEME ȘI SOLUȚII PENTRU CLĂDIRI DURABILE

Iurie ȚURCANU<sup>1</sup>, Andrei COVRIG<sup>2</sup>, Codreanu CONSTANTIN<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Departamentul Urbanism și Design Urban, magistrul, asist. univ. Facultatea Urbanism și Arhitectură, UTM, Chișinău, R. Moldova

<sup>2</sup> Departamentul Urbanism și Design Urban, student gr. PUR-181, Facultatea Urbanism și Arhitectură, UTM, Chișinău, R. Moldova

<sup>3</sup>Comitetul Tehnic C.T -49 "Eficiența energetică a clădirilor", dr. șt. teh., Institutul de Standardizare din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

\*Autorul corespondent: Constantin Codreanu, [constantin.codreanu77@gmail.com](mailto:constantin.codreanu77@gmail.com)

**Rezumat.** Green roofs perform a vital role in helping cities adapt to the effects of climate change by reducing the need for artificial cooling in hot weather and attenuating or capturing rainwater runoff, as well as providing a range of habitats for wildlife. However, green roofs can only provide these environmental benefits if designed and installed in a way that ensures that minimum performance criteria are met. This code therefore highlights the important green roof design, installation and maintenance considerations and provides guidelines as to how.

**Cuvinte cheie:** green-roof, tehnologii verzi, permeabilitate la aer, performanță energetică.

### Introducere

Acoperișurile verzi sunt acoperișurile clădirilor parțial sau complet acoperite cu plante verzi. În engleză, termenul acoperișuri verzi (green roof) este utilizat în legătură cu tendința de a asocia verdele cu tendințele de mediu din societate. Cu toate acestea, acoperișurile cu plante în ghiveci amplasate pe ele nu sunt considerate acoperișuri verzi.

În anii 1920, Le Corbusier a formulat cinci principii ale arhitecturii noi. Unul dintre aceste principii este amenajarea unei terase plate pe acoperișul clădirii, pe care ar putea fi amenajată o mică grădină sau un loc de relaxare.

Tehnologiile verzi sunt în tendința arhitecturii moderne [1-5]. Un avantaj al tehnologiilor ecologice este crearea condițiilor pentru un stil de viață sănătos, în primul rând prin absorbția prafului, reducerea nivelului de zgomot și protejarea structurilor care acoperă clădirile de influențele atmosferice. Datorită utilizării tehnologiilor de construcții ecologice, se obține un efect ridicat prin reducerea pierderilor de căldură prin anvelopa exterioară a clădirii, ceea ce reduce cantitatea de energie termică consumată. Confortul din camere crește datorită reducerii intensității transferului de căldură radiantă și convectivă pe suprafața interioară a structurilor de îngrădire. Are loc reducerea poluării mediului datorită reducerii emisiilor de substanțe nocive în atmosferă. Acoperișurile verzi reprezintă o modalitate eficientă de a crește spațiul verde într-un mediu orășenesc urbanizat și de a îmbunătăți microclimatul clădirilor Fig. 1.

Înverzirea acoperișurilor ajută la atenuarea regimului termic al mediului urban prin umbră, răcire prin evaporare și izolație termică. Utilizarea acoperișurilor verzi aplatizează efectul insulelor de căldură prin nivelarea temperaturii suprafeței și poate reduce semnificativ temperatura medie a unui întreg oraș [6].

Aceste avantaje ale acoperișurilor verzi au fost confirmate în mod repetat în practică. Cu toate acestea, până de curând, problemele proiectării acoperișurilor verzi nu aveau reglementări, ceea ce nu permitea utilizarea deplină a potențialului energetic, ecologic și economic ridicat al acoperișurilor verzi în diferite zone de umiditate și climatice. Astfel, recent în Republica Moldova au fost elaborate două Coduri Practice pentru clădiri și cartiere ecologice, care conțin unele reglementări în acest plan. Aceste documente de reglementare vor fi, fără îndoială, utile comunității profesionale largi: arhitecți, designeri, ingineri, dezvoltatori și urbaniști. În general, este de așteptat să stimuleze construcția de

clădiri cu acoperiș verde. Îndeplinirea recomandărilor Codurilor Practice elaborate în Republica Moldova va face posibilă utilizarea mai completă a avantajelor acoperișurilor verzi în construcții. De asemenea, în Federația Rusă a fost pus în vigoare GOST R58875-2020 "Amenajarea și întreținerea acoperișuri verzi ale clădirilor și construcțiilor. Cerințe tehnice și de mediu". Acest standard, pentru prima dată, stabilește caracteristicile tipologice ale acoperișurilor verzi.

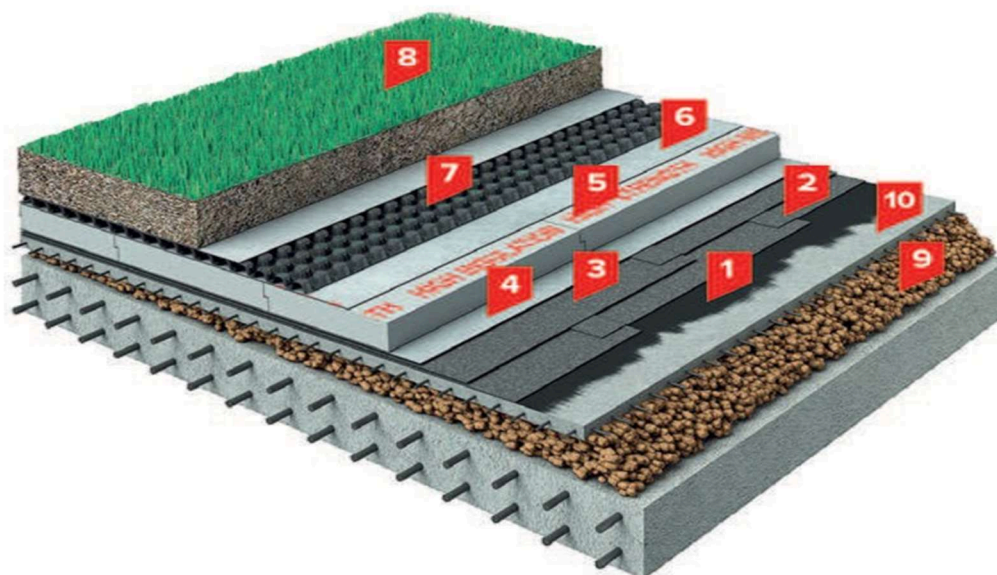


**Figura 1. Amenajarea unui acoperiș verde (green roof)**

Sunt luate în considerare în detaliu cerințele de mediu și tehnice pentru proiectarea lor, sunt prezentate cerințele pentru producția de lucrări și funcționarea structurilor. Cerințele pentru tipologia acoperișurilor înverzite și întreținute vor face posibilă aplicarea mai rațională a tipului de amenajare a teritoriului într-o anumită zonă climatică, care în procesul de funcționare va face posibilă obținerea efectului economic necesar. În timpul exploatării acoperișurilor verzi, cunoașterea cerințelor tehnice și de mediu va permite controlul în timp util al caracteristicilor de proiectare ale structurii, menținerea structurii în stare de funcționare și efectuarea reparațiilor curente și majore ale acoperișurilor.

#### **Particularitățile soluției constructive pentru acoperișurile verzi.**

Un acoperiș verde reprezintă o anvelopă complexă a clădirii. Ea include mai multe straturi de materiale care îndeplinesc diferite funcții (Fig.2).



**Figura 2. Construcția acoperișului verde**

- 1 - strat adeziv; 2 - stratul principal de impermeabilizare; 3 - strat suplimentar de impermeabilizare; 4 - strat inferior de separare; 5 - izolație termică; 6 - stratul superior de separare; 7 - stratul de drenaj; 8 - substrat cu spații verzi; 9 - strat de formare a pantelor; 10 - șapă armată cu ciment-nisip.

Astfel, stratul structural îndeplinește cerințele de siguranță mecanică a clădirilor. Stratul de izolație termică este conceput pentru a reduce pierderile de căldură și pentru a regla pasiv microclimatul din incinta clădirii. Stratul de impermeabilizare este folosit pentru a proteja spațiile de umezeală. Suprafața superioară a acoperișului este reprezentată de stratul de vegetație, care constă din plante plantate într-un substrat special. Acoperișul include și straturi speciale: de drenaj, de reținere a apei, filtrare, aerare. În timpul funcționării, acoperișurile sunt expuse la o gamă largă de influențe climatice. Condițiile de funcționare ale spațiilor afectează și condițiile termice și de umiditate ale acoperișurilor.

Acoperișurile verzi sunt proiectate pentru a oferi aer interior și mediu de înaltă calitate. Acestea necesită utilizarea unor metode speciale pentru calcularea caracteristicilor termice, izolatoare de aer și rezistente la umiditate.

**Probleme de proiectare a protecției termice a acoperișurilor verzi și tehnologia de încălzire a acoperișului verde presupune:** La proiectarea clădirilor, este necesar să se asigure caracteristicile tehnice de căldură necesare ale structurilor de închidere. Aceste caracteristici includ rezistență redusă la transferul de căldură, parametri sanitari și igienici, rezistență la căldură. În GOST R 58875–2020, structurile verzi ale acoperișului pot include diferite tipuri de neomogenități termice: pâlnii de admisie a apei, noduri de bontare a pereților, rosturi de dilatare. Neomogenitățile termice conduc la formarea în structură a câmpurilor bidimensionale și tridimensionale complexe de temperatură.

Conform cerințelor sanitare și igienice, temperatura de pe suprafețele interioare ale structurilor de îngrădire nu trebuie să fie mai mică decât valorile minime admise. Această temperatură pentru toate zonele termotehnice neomogene poate fi determinată din rezultatele calculului câmpurilor de temperatură.

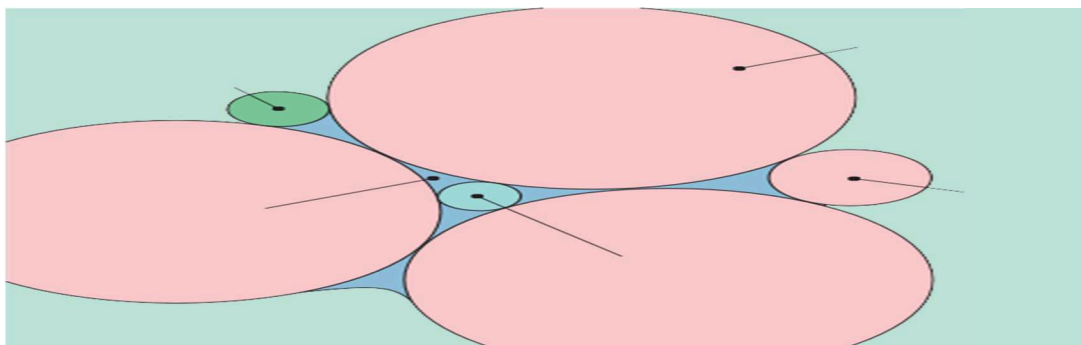
Pentru a analiza impactul termic al unei structuri asupra mediului, sunt necesare calcule ale rezistenței termice ale acoperișurilor verzi [7]. Cele mai exacte caracteristici termice ale acoperișurilor verzi pot fi determinate de rezultatele modelării numerice a procesului de transfer de căldură nestaționar cu calculul câmpurilor de temperatură tridimensionale ale structurilor [8]. Efectuarea unor astfel de calcule este extrem de necesară în etapa actuală pentru a formula noi soluții de proiectare pentru clădirile biopozitive și elementele acestora.

**Permeabilitatea la aer a acoperișurilor verzi.** Filtrarea aerului este posibilă în materialul umed. Acest proces este clar exprimat în materiale de construcție capilar-poroase cu un volum mare de pori deschiși și goluri, de exemplu, în stratul unui substrat. La filtrarea aerului, se consideră că densitatea fluxului de umiditate este proporțională cu gradientul de presiune a aerului. Pe parcursul exploatării acoperișurilor verzi, este necesar să se limiteze filtrarea aerului. Permeabilitatea la aer a structurilor de îngrădire este strâns legată de regimul lor termic. Permeabilitatea la aer a elementului structural plat și a îmbinărilor afectează în principal scăderea temperaturii pe suprafețele lor interioare în timpul sezonului rece.

Din punctul de vedere al regimului aerian, construcția acoperișului verde poate fi împărțită condiționat în două părți - cea inferioară și cea superioară. Partea inferioară a structurii, formată din materiale dense (beton armat, spumă de polistiren extrudat), este practic etanșă, care exclude fluxul de aer în incintă prin intermediul mecanismului de filtrare. Partea superioară a structurii constă din materiale poroase, prin urmare, în timpul exploatării, aerul umed este filtrat prin secțiuni individuale ale stratului de îngrădire. Circulația aerului în stratul vegetal este necesară pentru a livra oxigen la rădăcinile plantei. Datorită alternanței în construcția straturilor dense și permeabile la aer, este cel mai probabil să apară filtrarea transversală a aerului. Infiltrarea aerului în stratul de substrat în timpul sezonului rece poate duce la o scădere a rezistenței la transferul de căldură a structurii, pierderi suplimentare de căldură prin elementul de îngrădire și o reducere a eficienței energetice a întregii clădiri. Pătrunderea aerului umed intern în structură datorită exfiltrării este, de asemenea, periculoasă din punct de vedere al transferului de umiditate cu aerul, amortizarea structurii și scăderea proprietăților sale de protecție termică în acest sens.

**Protecția împotriva umezelii la acoperișuri verzi.** Acoperișurile verzi trebuie să asigure o protecție fiabilă a spațiilor împotriva umezelii. Soluțiile constructive pentru acoperișurile verzi ar trebui să creeze condițiile necesare pentru drenarea de pe suprafața acoperișului, să excludă apariția materialelor cu umiditate atmosferică și operațională, precum și datorită difuziei vaporilor de apă din cameră, să asigure hidroizolarea acoperișului. În același timp, în structură trebuie creat un mediu favorabil pentru viața plantelor.

Materialul umed din structurile de construcție este un sistem eterogen deschis. Acest sistem constă din mai multe componente: partea solidă a materialului (matricei), aerul și umezeala (Fig.3). Umezeala în porii materialului poate fi în mai multe faze: vapori de apă, lichid, pelicule de suprafață, gheață. Componentele și fazele materialului umed interacționează între ele, iar între ele are loc transferul de căldură și masă.



**Figura: 3. Structura materialului umed (diagramă):**

1 - matrice; 2 - vapori de apă în aer; 3 - umiditatea filmului și a articulațiilor;  
4 - umiditate capilară; 5 – gheață

În prezent, sunt cunoscute mai mult de 20 de mecanisme de transfer al umezelii în materialul umed [9]. La umiditate și prezența absorbției materialelor de construcție, circulația umezelii vapoare are loc prin mecanismul de difuzie a vaporilor de apă sub influența gradientului presiunii parțiale a vaporilor în porii materialului. Prin calcul, putem stabili cantitatea de condens de umiditate din structură, presupunând că umezeala lichidă este legată strâns de material și rămâne staționară.

Un volum mare al fazei lichide de umiditate poate fi introdus în structură sub precipitații atmosferice, precum și la udarea plantelor. O parte din această umiditate se evaporă, ceea ce determină efectul răcirii prin evaporare a suprafeței structurii. În ansamblu cu stratul verde, acest efect aplatizează regimul termic al acoperișului atunci când este expus la radiații solare intense.

O parte din umiditate este acumulată de substrat și de stratul de acumulare a umezelii. Stratul de acumulare a umezelii este conceput pentru a acumula umezeala într-un sezon ploios și pentru a readuce umiditatea rădăcinilor plantelor într-un sezon uscat. Viabilitatea plantelor depinde în mare măsură de acest strat. O parte din umezeală se scurge prin filtru și straturi de drenaj și este îndepărtată prin gravitație de pe acoperiș. În aceste cazuri, este necesar să se ia în considerare transferul de umiditate capilară sub influența gradientului conținutului de umiditate, precum și filtrarea umidității cu un gradient total de presiune a fluidului. La temperaturi negative, o parte a umezelii îngheață și formează o crioază în porii materialului de construcție, care ar trebui să se reflecte în modelul de transfer de umiditate.

În condiții neizoterme, este necesar să se ia în considerare fluxul de umiditate cauzat de gradientul de temperatură - conductivitatea termică a umidității.

Luarea în considerare a tuturor mecanismelor de transfer al umezelii într-un material umed este o sarcină extrem de dificilă; prin urmare, în practică, sunt adesea utilizate diferite generalizări ale teoriei transferului de umiditate. Generalizarea finală este crearea de către V.N. Bogoslovsky a teoriei și metodei pentru calcularea transferului de umiditate pe baza potențialului termodinamic total neizotermic al umidității [10].

Procesele de transfer de căldură și umiditate sunt interconectate, prin urmare, evaluarea tehnică termică a acoperișurilor verzi ar trebui efectuată ca un calcul general al proprietăților termice și de protecție a umedității îngrădirilor exterioare ale unei clădiri [11].

**Performanța energetică a clădirilor cu acoperișuri verzi.** Calculul caracteristicilor energetice ale clădirilor este necesar pentru a evalua eficacitatea măsurilor de economisire a energiei prevăzute în proiect. Calculul caracteristicilor energetice ale clădirilor cu acoperișuri verzi trebuie efectuat ținând seama de caracteristicile termice ale elementelor de îngrădire.

Acoperișurile verzi sunt exploatate în general pe tot parcursul anului. Prin urmare, calculul caracteristicilor energetice ale clădirilor care conțin acoperișuri verzi ar trebui efectuat într-un ciclu anual, cu o evaluare a consumului anual de căldură și energie al sistemelor ingineresti. Solicitățile energetice ale unei clădiri pentru încălzire și răcire trebuie calculate ținând cont de fluxurile de căldură datorate transferului de căldură prin anvelopa externă. La existența în clădire a diferitor zone neomogene din punct de vedere termic, este necesar să se țină seama de transferul de căldură peste granițele acestor zone. Calculul consumului de energie de către sistemele ingineresti ar trebui să se facă într-un regim termic non-staționar bazat pe variația zilnică a temperaturii aerului exterior și a radiației solare. Acest lucru va permite cel mai bine de a ține cont de proprietățile de performanță ale acoperișurilor verzi cu o inerție termică ridicată. Influența vitezei vântului afectează rezultatele calculului într-o măsură mai mică, astfel încât acest parametru poate fi luat pe baza valorilor medii lunare. Utilizarea metodelor pentru calcularea regimului termic non-staționar al camerelor individuale și al clădirii în ansamblu necesită utilizarea unor softuri speciale.

**Concluzii.** Rezultatele cercetării efectuate demonstrează că documentele normative menționate, atât Codurile practice, cât și GOST R 58875–2020 “Amenajarea și întreținerea acoperișuri verzi ale clădirilor și construcțiilor. Cerințe tehnice și de mediu”, vor fi cu siguranță utile comunității profesionale largi. În general, este de așteptat ca acestea să stimuleze construcția de clădiri cu acoperiș verde. Îndeplinirea cerințelor acestora va face posibilă utilizarea mai completă a avantajelor acoperișurilor verzi în construcții. În acest sens, este necesar să se elaboreze reguli pentru proiectarea protecției termice a acoperișurilor verzi și prezentarea acestora în documentele de reglementare actuale.

## Referințe

1. HeY., Yu H., Dong N., Ye H. *Thermal and energy performance assessment of extensive green roof in summer: A case study of a lightweight building in Shanghai*. Energy and Buildings. 2016. No. 127. Pp. 762–773.
2. Sproul J., Wan M. P., Mandel B. H., Rosenfeld A. H. *Economic comparison of white, green, and black fl roofs in the United States*. Energy and Buildings. 2014. Vol. 71.
3. Копылова А. И., Богомолова А. К., Немова Д. В. *Энергетическая эффективность здания с применением технологии «зеленая кровля» // Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 10 (49). С. 20–34.
4. Корниенко С. В. *Умный город—создание комфортного и энергоэффективного жилища // Энергосбережение*. 2020. № 4. С. 62–66.
5. Корниенко С.В., Попова Е.Д. *«Зеленое» строительство в России и за рубежом//Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2017.№ 4(55). С.67–93.
4. Korniyenko S. V. *Multifactorial forecast of thermal behavior in building envelope elements*. Magazine of Civil Engineering. 2014. No. 8. Pp. 25–37.
7. Гагарин В. Г., Зубарев К. П. *Применение теории потенциала влажности к моделированию нестационарного влажностного режима ограждений // Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 4 (127). С. 484–495.
8. Богословский В. Н. *Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий*. М.: МГСУ, 2013. 112 с.