БИОКЛИМАТСКА И ПАСИВНА СОЛАРНА АРХИТЕКТУРА ЛОКАЛИТЕТА ЛЕПЕНСКИ ВИР И ПАДИНА – ГОСПОЂИН ВИР

Ненад Б. Милорадовић
ЈКП Београдске електране

e-mail: nesoni2@mts.rs
УДК:
Прегледни рад
Примљено: 12. III 2017.
Прихваћено: 7. V 2017.

Апстракт: *У остацима архитектуре на локалитетима Лепенски Вир и Падина – Госпођин Вир, која је настала пре око 8.000 година, видљиве су и препознатљиве мере за повећање енергетске ефикасности у грађарству, а које су примењене током осмишљавања и грађења кућа и насеља на поменутим локацијама. У раду је изложено зашто је та архитектура енергетски ефикасна (за оно време), разматрани су оптимална оријентација кућа, у смислу задовољавања потреба за грејањем и хлађењем тих настамби, аспект урбанизма насеља, и представљена је сличност са Сократовом кућом. Резултат прорачуна оптималне оријентације заснован је на подацима који обухватају астрономски и географски положај садашње локације Лепенског Вира и на подацима из базе података типичне метеоролошке године за Неготин. Аутор сматра да настале промене током протеклих 8.000 година не утичу битно на избор оптималне оријентције кућа, те да се ова архитектура с правом може назвати биоклиматском и пасивном соларном архитектуром.*

Кључне речи: *Лепенски Вир, одрживи развој, енергетска ефикасност, биоклиматска архитектура, оријентација, Сократова кућа.*

Abstract: *The remains of the architecture of Lepenski Vir (including the Padina – Gospođin Vir site), which emerged some 8,000 years ago, indicate to recognizable measures aimed at increasing energy efficiency in building stock, which were implemented in the design and construction of houses and settlements at those sites. This paper presents why is such architecture energy efficient (for that time), gives review of optimal orientation for heating and cooling needs, aspect of urbanism and shows similarity with Socrates house. Having in mind geographical and astronomical data on Lepenski Vir and data on a typical meteorological year for Negotin, optimal orientation of the houses for the purpose of heating and cooling was calculated. This orientation is close to the orientation achieved for the constructed houses of the prehistoric settlement, so in this case we may speak about original passive solar and bioclimatic architecture.*

Key words: *Lepenski Vir, sustainable development, energy efficiency, bioclimatic architecture, orientation, Socrates house.*

1. Увод – приступ и основни појмови

Живимо у времену када су актуелни изазови везани за потрошњу енергије, очување ресурса и заштиту животне средине, а енергетска ефикасност у грађарству добија све више на значају. Због тога је 1987. године установљен појам одрживи развој (енгл. sustainable development) од стране Светске комисије за окружење и одрживост (енгл. World Commission on Envoronment and Sustainability), а који је званично прокламован *Бергенском декларацијом* из 1990. године (Радосављевић, Павловић и др. 2004: 363–364). Укратко, одрживи развој је онај развој који задовољава потребе садашње генерације, не угрожавајући могућност будућих генерација да задовоље своје потребе. Одрживи развој је тесно повезан са применом обновљивих извора енергије (ОИЕ).

Енергетска ефикасност у грађарству има огромну важност у економији са аспекта потрошње горива и емисије гасова у атмосферу, који утичу на глобално загревање. „У нашем времену морамо да начинимо корак ка уравнотежењу управљања ресурсима и ка стварању друштва базираног на ОИЕ. Пошто сектор грађарства користи око 40% ових ресурса, архитекте имају главну улогу у овом процесу…“.[1]

Можемо поставити питање: „Због чега је праисторијска архитектура давно изумрлих предака интересантна данашњим инжењерима и архитектама који се баве одрживим развојем?“. Одговор је једноставан: друштво које је живело у праисторији представља слику друштва којем одговара концепт одрживог развоја (Милорадовић Н. 2006: 315–320). На свом предавању о енергетској ефикасности у Београду, немачки инжењер Хелмут Крамес поставио је питање: „Да ли су у праисторији марили за енергетску ефикасност у грађарству?“ (Крамес 2014), а овај рад представља више но потврдан одговор на његово питање – у праисторији је очување енергије било доминантно. У тим давним временима је економија била базирана на примени ОИЕ (индустријска револуција и масовна примена фосилних горива десила се касније; ватра је била ложена углавном коришћењем дрвета као горива, а тек понегде локално – и угља; сунчева енергија се користила за сушење хране и материјала „зидова“ станишта). Затим, загађивање животне средине било је минимално, а за градњу тадашњих насеља коришћени су природни материјали. И што је изузетно важно, а што се уклапа у дефиницију одрживог развоја, праисторијска насеља су трајала много генерација, а начин живота је прилагођаван локалним климатским условима. Искуство у умећу избора локалитета за становање, у планирању насеља и градњи станишта, које је стицано хиљадама година, нипошто се не сме занемарити и потценити, а може и допринети, уз примену нових материјала и технологија, формирању одрживог друштва у будућности.

[1] Преузето из конференцијског саопштења са конференције PLEA 2004 – Passive and Low Energy Architecture, одржане од 19. до 22. септембра 2004. године у Ајндховену, Холандија (http://plea-arch.org/conferences/).

У вези са појмом и значајем биоклиматске архитектуре најбоље је цитирати књигу нашег познатог архитекте Миле Пуцар: „Биоклиматска архитектура није никакав нови стил или правац у архитектонским стремљењима XX века. Под овим појмом подразумева се, заправо, глобална концепција у приступу решавању основног егзистенцијалног питања човековог битисања, а то је пре свега питање његовог станишта. Интеграција куће са окружењем и природним енергетским токовима, њихово коришћење ради постизања вишег комфора, без нарушавања природне еколошке равнотеже, само су неки од циљева биоклиматске архитектуре. (…) Битан елемент биоклиматске архитектуре је клима у најширем смислу те речи, а посебно, оптимално коришћење њених погодности, од којих прво место заузима осунчавање. Степен инсолације[2] може се сматрати најважнијим чиниоцем климе једне локације, а правилна оријентација неке куће и њених просторија, зависно од инсолације, први је предуслов да ту кућу назовемо соларном или биоклиматском. Микроклиматски услови сваке локације који обухватају дневне и сезонске промене температуре, влаге и кретање ваздушних маса као и падавине, битно утичу на енергетски биланс сваког станишта.“ (Пуцар 2006: 17–18)

Из угла термотехнике, са становишта грејања, климатизације и хлађења станишта, ипак морам рећи да је доминантан климатски фактор за непосредно остваривање температурне угодности управо – спољна температура, а не инсолација, али је она, свакако, важна карактеристика локације. Брзина и правац ветрова такође су веома значајни, а реч биоклиматска подразумева и биљно окружење, јер биљке значајно утичу на микроклиму.

Биоклиматска архитектура треба да кроз урбанистичко планирање и пројектовање објекта одговори на нека питања која су у вези са елементима климе. Питања су следећа (Пуцар 2006: 26):

1. Која је оптимална локација и оријентација зграде (уколико је избор могућ)?
2. Који су повољни и неповољни елементи климе и како их оптимално прилагодити згради и зграду њима?
3. На који је начин могуће побољшати микроклиму око зграде и унутар ње?

Архитекта треба својим пројектом да одговори на ова питања, прилагођавајући кућу елементима климе. Резултат таквог пројекта је пријатан унутрашњи боравак и остваривање уштеде енергије фосилних горива за постизање тог пријатног боравка. У пројекат треба укључити примену ОИЕ. Сунчева енергија је могла бити примењена као ОИЕ у праисторији, јер на свакој отвореној локацији постоји утицај сунчевог зрачења.

Данас се соларни системи деле на активне и пасивне. Активни су онда када постоје уређаји за принудну размену енергије, и данас су то, на пример, пумпе и вентилатори. Пасивни су системи када кућа сама, без тих уређаја сакупља сунчеву енергију и део ње троши на загревање и остваривање комфорног боравка, користећи природне начине размене енергије.

[2] Степен осунчаности.

Пасивна соларна архитектура заснована је на принципима који могу да доведу до квалитетније градње еколошких и нискоенергетских кућа. Она је само део биоклиматске архитектуре, која представља шири појам. Заједно су само један, али важан део знања потребног за пројектовање.

У раду је показано да архитектуре праисторијских насеља Лепенски Вир и Падина – Госпођин Вир суштински представљају интеграцију куће и насеља са окружењем и природним енергетским токовима, као и њихово коришћење ради постизања вишег комфора, а без нарушавања природне еколошке равнотеже. Такође, приказана је и блискост теоријски правилне (оптималне) оријентације кућа у датом природном окружењу и остварене оријентације, која је била примењена приликом градње кућа и двају насеља ових праисторијских локалитета.

2. Основне информације о локалитетима Лепенски Вир и Падина – Госпођин Вир

Археолошка ископавања у Ђердапу вршена су током шездесетих година XX века. За откриће Лепенског Вира најзаслужнији је академик Драгослав Срејовић, док је ископавањима на локалитету Падина – Госпођин Вир руководио академик Борислав Јовановић. Поред локалитета Власац, ова два локалитета су најзначајнија насеља праисторијске културе Лепенског Вира и најбоље су документована са аспекта биоклиматске архитектуре. Од значаја је и то што локалитети Лепенски Вир и Падина –Госпођин Вир, који се налазе на међусобном растојању од свега шест километара, имају веома сличне микроклиматске карактеристике, а слична им је и конфигурација терена. Наиме, реч је о увалама које се налазе на западној обали Дунава, одакле се може посматрати јутарњи излазак Сунца преко површине реке, од које се Сунчево зрачење одбија и на тај начин појачава. Сачувани планови насеља имају велику вредност зато што су оба ова локалитета потопљена због изградње хидроелектране Ђердап 1 и формирања великог вештачког језера.

Архитектонски стил на Лепенском Виру одликују три фазе: Прото-Лепенски Вир, Лепенски Вир I (са својим подфазама) и Лепенски Вир II. Према Д. Срејовићу, те три фазе „показују како се тај свет најпре дуго тражи, како се налази и најзад неодложно губи“ (Срејовић 1969: 42–92). Станишта Прото-Лепенског Вира имала су основу овалног или јајоликог облика (Радовановић 2002: 43–46), у фази Лепенски Вир I архитектура је била прецизно дефинисана, док фаза Лепенски Вир II обухвата изградњу на деградираној подлози. Новија истраживања археолошког материјала показују контрадикторности у хронологији насеља: према Д. Борићу (Борић 2002: 29–35), фаза Прото-Лепенски Вир, која обухвата и локалитете Падина – Госпођин Вир и Власац, захвата период од око 9.500 до 7.300 г. старе ере. Прве „трапезоидне“ куће се јављају око 6.200 г. старе ере и фаза Лепенски Вир I траје

око 150 до 200 година, или око 6 људских генерација, а локалитет бива напуштен око 5.500 г. старе ере. Са друге пак стране, И. Радовановић (Радовановић 2002: 40) наводи да Прото-Лепенски Вир одговара периоду од 13.200 до 7.200 г. пре н. е., а најраније фазе Лепенског Вира I одговарају периоду од 7.200 до 6.300 г. пре н.е., док Лепенски Вир II она смешта у период од 6.300 до 5.900 г. пре н. е. На тај начин долазимо до закључка да је у тим кућама живело много генерација, те да су оне допринеле дуготрајности насеља.

Микроклиматски услови су повољни јер је на самом локалитету Лепенски Вир клима умеренија него ван Ђердапа (ђердапска клима је у јулу 2-3°C хладнија, а у јануару је око 0,1-1,2 °C топлија у односу на околне регије) (Михаиловић 2002: 25–27). Треба напоменути и то да је ђердапска клима веома влажна (20% више падавина у односу на суседне области) (Михаиловић 2002: 25–27). Што се тиче јачине Сунчевог зрачења, на самом локалитету нису вршена мерења, али Доњи Милановац, који се налази 16 километара низводно, представља једно од места са највећим бројем годишњих сати сијања Сунца у Србији. Према осматрањима у Неготину и Великом Градишту, која нису најмеродавнија за Ђердап, средња годишња вредност инсолације за период од 1992. до 2011. године износи 2.156,7, односно 2.240,9 часова (Миланковић 2015: 47–54). Што се тиче просечног броја ведрих дана, Неготин је са 88 дана годишње био најведрије место у Србији за референтни период од 1981. до 2010. године (РХМЗС 2016). Повећана влажност ваздуха условљава смањење инсолације у Ђердапу (Станковић 2003: 43–56). Све су то важни параметри за биоклиматску архитектуру и од значаја за термостабилност станишта.

Пошто су очувани само подови, трећа димензија кућа је остала непозната. Постоје једино претпоставке о томе какве су те куће биле. Многи су се питали, па и сам Д. Срејовић, како је изгледала ова кућа у простору. Готово нико није поставио питања: „У чему је сврха овакве градње и зашто су ове куће баш на такав начин грађене?“ Одговори на ова друга два питања могу се добити и без прецизног одговора на прво питање.

Сврха архитектуре и урбанизма праисторијских насеља Лепенски Вир и Падина –Госпођин Вир је највероватније, између осталог, и остваривање пријатних услова за боравак у склопу природног окружења. Она се може разумети ако се у обзир узму климатски услови и кретање Сунца по небеској сфери. Овакав закључак се може извести само на основу сачуваних остатака основица, без познавања тачне треће димензије објекта.

Реконструкције кућа и претоставке о њиховом изгледу дали су Драгослав Срејовић, Пеђа Ристић, Христивоје Павловић, Душан Борић, Војислав Девић, а данас постоји и реконструкција куће у самом музеју. Трећа димензија кућа, иако непозната, свакако је морала пратити облик сачуване основице.

3. Зашто је ова архитектура енергетски ефикасна?

Већ смо рекли да су од кућа на Лепенском Виру сачувани само подови. Ипак, само на основу њих, уколико се они посматрају у склопу природног окружења и ако знамо какви су материјали могли бити употребљени за градњу омотача куће, можемо извести закључак да су градитељи Лепенског Вира и Падине – Госпођин Вир веома добро владали вештинама које данас зовемо биоклиматском и пасивном соларном архитектуром.

Огњишта су била уклопљена у под, правоугаоног облика, и налазила су се на улазу у кућу. Већ на први поглед може се видети да су та огњишта на улаз смештена из истог разлога због којег данас уграђујемо радијаторе испод прозора. Прилив хладнијег спољног ваздуха у кућу долази од улаза, преко огњишта се тај ваздух загрева, и онда циркулише у унутрашњости. Постављањем огњишта на улаз постиже се повољна и равномерна температурна расподела ваздуха у затвореној просторији.

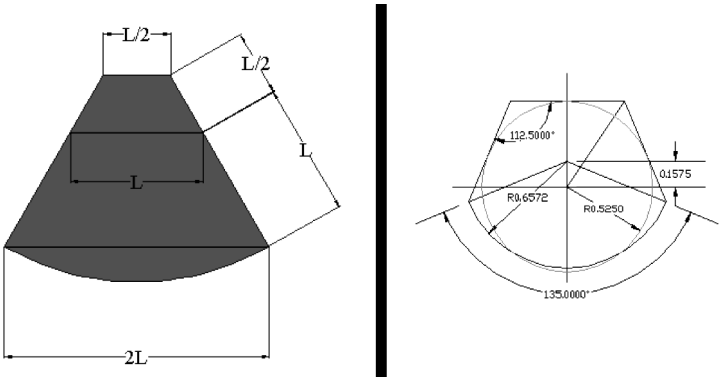
За разматрање енергетске ефикасности архитектуре морамо знати да су највеће потребе за енергијом биле зими због грејања, а лети због припремања хране. Осим тога, ватра је коришћена вероватно и ноћу ради осветљавања. Лети, када су високе температуре спољног ваздуха, ватра на огњишту није пожељна, јер представља топлотни добитак. Управо због различитих сезонских потреба за енергијом треба одвојено разматрати зимски и летњи период коришћења станишта.

3.1. Зимски период

Током сезоне грејања, топлотни губици станишта прорачунавају се као збир трансмисионих и вентилационих губитака топлоте. Први представљају губитак топлоте кроз „зидове“, а други губитак услед загревања хладнијег спољног ваздуха који допире у унутрашњост просторије. Трансмисиони губици топлоте зависе директно од површине омотача станишта, од термоизолационих карактеристика материјала зидова и од разлике температура између унутрашњег и спољног ваздуха.

Прва видљива и препознатљива мера за унапређење енергетске ефикасности на архитектури Лепенског Вира и Падине – Госпођин Вир је компактност основе, а самим тим и куће у целини. За меру компактности битан је однос површине и запремине тела, односно – однос обима и површине фигуре, уколико се посматрају само две димензије (због тога што су сачувани само подови кућа). Ако је облик компактнији, тј. уколико је мањи однос површине према запремини, размена топлоте са околином биће мања и биће смањени трансмисиони губици топлоте. Компактност облика је важна за побољшање енергетске ефикасности и у зимском и у летњем периоду.

Облик основе по Д. Срејовићу незнатно је оптимизован у циљу побољшања енергетских карактеристика основице. Та оптимизација врши се само геомет-



Сл. 1 - Облик основе по Д. Срејовићу (Срејовић 1969: 42-92) и оптимизован облик основе по аутору (Милорадовић 2009: 27-42)
Fig. 1 - Ground plan afer D. Srejović (Срејовић 1969: 42-92) and modificated basis shape after author (Милорадовић 2009: 27-42)

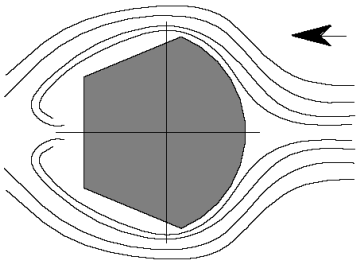
ријским прорачунима. Однос обима према површини овакве оптимизоване основе пода мањи је него код квадрата, а кућа цилиндричног облика са таквом основом троши мање енергије за загревање (у односу на коцку од 5 до 7 %) (Miloradović N. 2016: 54–59).

Предности оваквог асиметричног и ексцентричног облика манифестују се уколико се примени адекватна оријентација. Повољна оријентација на датом локалитету није била јужна. Услед конфигурације терена и брда у залеђу, место градње је највише изложено сунчевом зрачењу током преподнева и окренуто је према реци. Због тога је оријентација насеља Лепенски Вир (као и Падина – Госпођин Вир) претежно источна, јер касно поподне постоји само дифузно Сунчево зрачење на локалитету. Избором повољне оријентације кућа, као и избором самог локалитета, потребе за енергијом, које су највеће у јутарњим часовима, подмирују се једним делом добицима од Сунчевог зрачења.

Трећа мера за смањење трансмисионих губитака топлоте у зимском периоду јесте коришћење сунчеве енергије за побољшање термоизолационих својстава „зидова“ куће. Материјали који су били примењени за градњу (дрво, блато, кожа, прућe…) јесу они који губе термоизолациона својства под утицајем влаге. Сушењем „зидова“ куће јутарњим сунчевим зрачењем побољшава се степен термичке изолације и смањују се трансмисиони губици топлоте. Садржај влаге у материјалима (нарочито после честе росе или киша по влажној ђердапској клими) може и двоструко да повећа термичку проводност материјала, што знатно утиче на термостабилност станишта.

Трансмисиони губици топлоте у зимском периоду смањивани су компактним обликом и сушењем „зидова“ јутарњим Сунчевим зрачењем ради побољшања степена термичке изолације, при чему је коришћена повољна оријентација.

Вентилациони губици топлоте били су изразити. Распоред и величина отвора (прозора) били су непознати, због чега нема сврхе тачно прорачунавати губитке топлоте. Можемо претпоставити да су те куће биле изложене ветровима који дувају са реке, јер стрмо залеђе и биљно растиње смањују могућност дувања ветрова из других праваца. У циљу смањења вентилационих губитака топлоте, две мере за унапређење енергетске ефикасности делују заједно и истовремено – аеродинамичност основе и правилна оријентација.



Сл. 2 - Опструјавање ветра око оптимизоване основице
Fig. 2 - Wind current around optimized ground plan

Облик основице подова је веома повољан, јер омогућава природно опструјавање са малим падовима и разликама притисака (сл. 2), као и задржавање повољне температуре у унутрашњости. Изузетна је аеродинамичност облика основе, која је много боља од нпр. квадрата, односно коцке. Аеродинамични облици смањују инфилтрацију хладног спољног ваздуха у унутрашњост објекта. На тај начин се миниминизира кретање ваздуха у просторији и смањује размена топлоте са околином. Налети ветра смањени су предњом лучном страном. Аеродинамичност облика је веома битна за смањење вентилационих губитака. За разлику од примене таквих облика у ваздухопловству, овде је веома важна улога аеродинамике малих брзина.

Укопавање је још једна мера за побољшање енергетске ефикасности, а која се може приметити на Лепенском Виру. Познато је да земљиште има боље термичке карактеристике него околни ваздух. Укопавање се примењује још и као заштита од ветра. Задње стране кућа биле су укопане услед конфигурације терена и заштите од ветра. Висина укопане земље била је од око 80 cm до 1m (Срејовић 1969: 42–92). Понегде је таква конструкција представљала и потпорни зид, а насеље је имало терасаст изглед.

Вентилациони губици топлоте смањени су градњом аеродинамичне основе (а самим тим и аеродинамичним обликом куће у целини), избором повољне оријентације, укопавањем и, вероватно, биљним окружењем и стрмим залеђем.

3.2. Летњи период

И у летњем периоду оваква архитектура може да оствари повољан термички комфор. Осим микроклиматских погодности, које су уочене у избору саме локације за насеље (стрмо залеђе са западне стране и близина велике водене површине), сенку на насеље је током лета, у поподневним часовима, бацало и биљно растиње у окружењу. Познато је да су за потребе климатизације највећа топлотна оптерећења у поподневним часовима, када истовремено делују висока спољна температура и

Сунчево зрачење. Северна и североисточна оријентација је најповољнија са аспекта смањења топлотних добитака од Сунчевог зрачења.

Додатно хлађење се може остварити једноставном техником – поливањем „зидова“ и подова кућа водом из оближње реке. Вода би испаравала у околни ваздух, снижавајући температуру „зидова“ и подова кућа, и на тај начин је у њима било пријатно и током лета. Такође, близина реке и њена температура воде доприносе угодности у летњим месецима.

Термални комфор у летњем периоду је остварен компактним обликом, избором повољне локације са стрмим залеђем са западне стране, избором повољне оријентације кућа (углавном према истоку и реци), близином реке и, вероватно, коришћењем сенке од биљног окружења. Стрмо залеђе, заједно са биљним окружењем, које се налази на западној страни насеља, ствара сенку и хладовину током лета у поподневним часовима, што је повољно из угла остваривања термичког комфора током тог периода године.

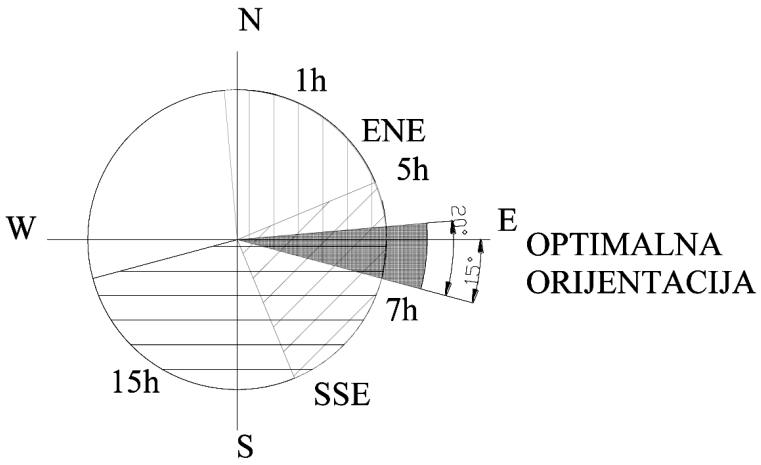
4. Добра усклађеност добитака од Сунчевог зрачења и потреба за енергијом и избор оптималне оријентације

Код примене ОИЕ, нарочито Сунчеве енергије, потребно је усклађивање производње и потрошње енергије. На овим локалитетима постоји добра усклађеност „производње“ енергије (добици топлоте и светлости од Сунчевог зрачења) и потреба за енергијом (за сушење зидова и грејање), што се огледа у избору оријентације и локалитета и кућа. Јутарња спољна температура је нижа него спољна температура преко дана, па су потребе за грејањем највеће ујутру. Избором повољне оријентације кућа, као и самог локалитета, те потребе се подмирују једним делом добицима од сунчевог зрачења. Сушење „зидова“ станишта од росе или иња у влажној ђердапској клими је веома битно, јер знатан садржај влаге у материјалу зидова повећава термичку проводност материјала. Веће површине кућа више су изложене јутарњем Сунцу, а за то је заслужна претежно источна оријентација кућа и њихова окренутост према реци која може да рефлектује и појачава јутарње Сунчево зрачење.

На локалитетима Лепенски Вир и Падина – Госпођин Вир, због конфигурације терена, постоји одређено преклапање смерова повољних оријентација кућа, односно насеља. Наиме, повољне приближне оријентације се на истој локацији једним делом преклапају због смањења зимских, и трансмисионих и вентилационих губитака топлоте, као и због летњих потреба за хлађењем. Постоји заједничка оријентација која задовољава сва три случаја. На другим – равним – локалитетима, то није увек могуће остварити. Овде, услед конфигурације терена и природног окружења, настаје јединствена ситуација, а сам одабир локалитета за градњу на-

сеља веома је битан. Осим повољних услова за набавку хране због близине реке, повољни су и микроклиматски услови. Ове микроклиматске погодности могле су бити примећене дуготрајним посматрањем природних процеса и феномена везаних за Сунчево зрачење: топљење снега, исушивање барица, праћење појава росе или иња, и слично.

На следећој слици је приказана оптимална оријентација кућа на Лепенском Виру. Она је претежно источна, са одступањима до 5° северно и до 15° јужно.

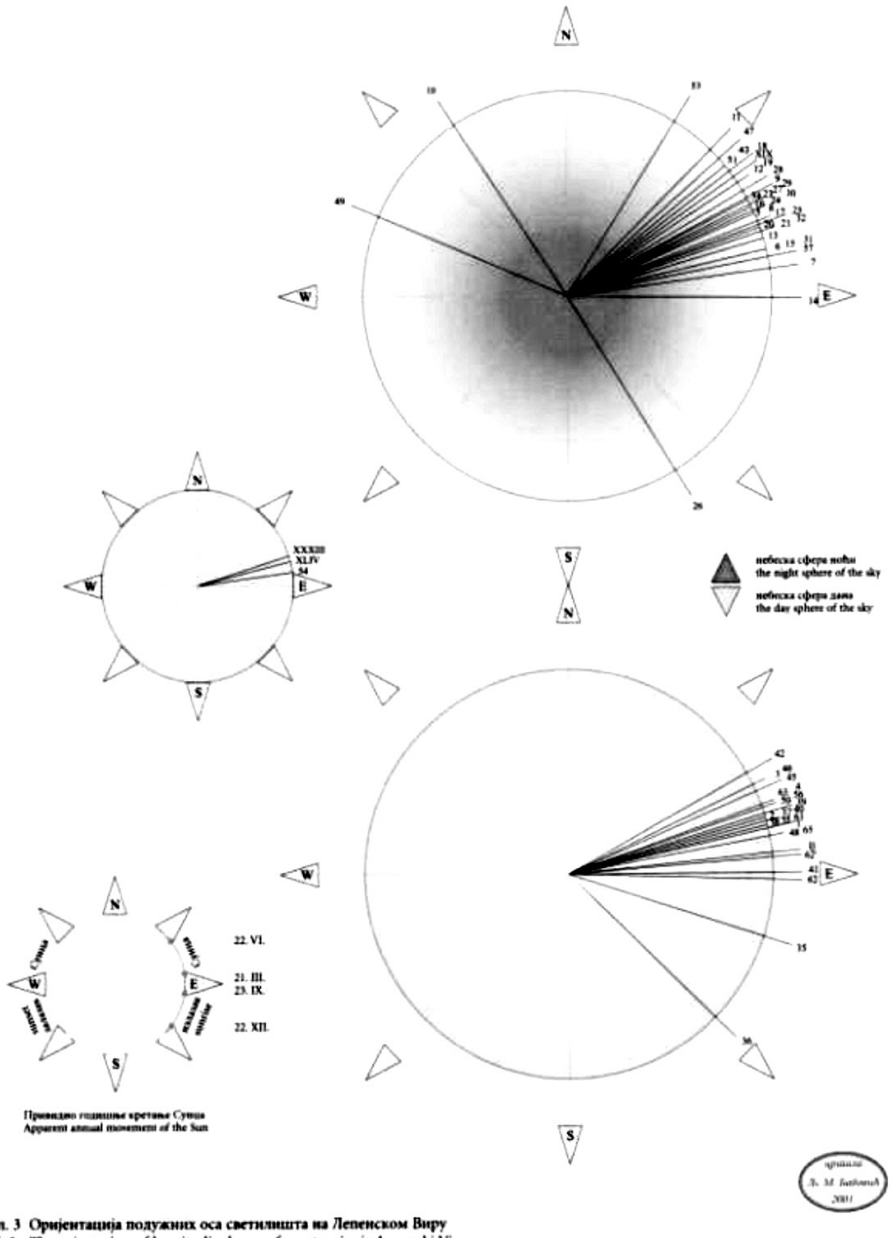


Сл. 3 - Оптимална оријентација станишта на Лепенском Виру
Fig. 3 - Optimal orientation of the houses on the Lepenski Vir site

Ова слика је добијена пресеком оптималних оријентација – због потреба за грејањем (од истока до југозапада, хоризонтална шрафура), хлађењем (од севера до истока, вертикална шрафура), и елиминисањем утицаја ветра (на локалитету Лепенског Вира су од утицаја источно-североисточни и јужно-југоисточни ветрови, пошто, претпостављам, стрмо залеђе са западне стране и укопавање елиминишу утицај доминантних западних ветрова; коса шрафура).

У овој анализи су за оптималну оријентацију коришћени географски и астрономски подаци за садашњу локацију Лепенског Вира, док су метеоролошки подаци усвојени за Неготин, који се налази 54 км југосточно ваздушном линијом, ван Ђердапске клисуре. Коришћена је база података из програма МЕТЕОНОРМ, типичне метеоролошке године Неготина, са подацима на часовном нивоу. За прецизније метеоролошке податке, који би обухватали и утицај Ђердапске клисуре, потребно је поставити аутоматску метеоролошку станицу на самом локалитету Лепенског Вира и видети колико је тачна претпоставка о утицају ветра.

На почетку рада је истакнуто да је неопходан услов да неку кућу назовемо биоклиматском или соларном – њена оријентација. У литератури можемо наћи



пл. 3 Оријентација подужних оса светилишта на Лепенском Виру
pl. 3 The orientation of longitudinal axes of sanctuaries in Lepenski Vir

Сл. 4 - Оријентација симетрала станишта на Лепенском Виру према Љ. Бабовић (2006)
Fig. 4 - Centerlines house orientation on the Lepenski Vir site (after Lj. Babović 2006)

цртеже који представљају оријентације кућа на Лепенском Виру (Бабовић 2006).

Може се закључити, уколико погледамо сл. 4, да је остварена оријентација тих кућа веома блиска оптималној и да је она била примењена приликом градње кућа и насеља на Лепенском Виру.

У вези са применом Сунчеве енергије за потребе загревања треба напоменути да оријентација кућа не мора бити астрономски прецизна. За раван терен могућа су одступања до 20º према истоку и до 30º према западу. За та одступања објекат прима 10% мање Сунчевог зрачења (Радосављевић, Павловић и др. 2004: 363–364).

У анализи су за оптималну оријентацију узети у обзир астрономски, географски и метеоролошки подаци садашњег стања, а не стања од пре 8.000 година.

Прецесионо кретање Земље,[3] које се за разматрани период не може занемарити, утиче само на положаје далеких сазвежђа и звезда некретница, а не и на грубе положаје изласка и заласка Сунца. Нагиб земљине осе према равни еклиптике[4] мења се за мање од 2,4° услед прецесије,[5] тако да се чувају географске стране света.

Географски подаци такође дају само приближну слику. Анализирани углови хоризонта су претпостављени према цртежима Д. Срејовића (Срејовић 1969: 42–92) и сигурно је да се разликују од стања од пре 8.000 година. Међутим, и поред изградње акумулационог језера, углови западног хоризонта су много виши од источног, и та генерална слика се због ширине реке није могла променити за разматрани временски период. Висине јужног и северног хоризонта нису од значаја за ову анализу, јер ноћу нема Сунчевог зрачења, док је преко дана Сунце довољно високо.

Клима се за протеклих 8.000 година такође променила, али не драстично. Палеоклиматолози сматрају да су између 8.000 и 3.500 година пре н. е. климатски услови били релативно стабилни и да је тада било топлије него данас (Radić www.medhycos.mpl.ird.fr/doc/zoran.htm). Сматра се да холоценски климатски оптимум обухвата период од пре 9.000 до 5.000 година, што управо и одговара периоду коришћења архитектуре на Лепенском Виру. Због свега реченог, прорачуни оптималне оријентације дају само грубе процене, али сматрам да у овом случају нису могућа знатнија одступања. За неку другу прилику остаје разматрање утицаја влаге и потреба за сушењем зидова кућа у циљу побољшања њихове термоизолације.

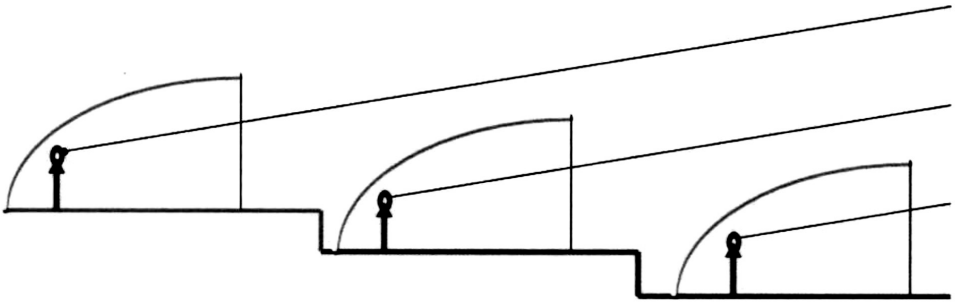
[3] Прецесионо кретање се може симулирати ротацијом чигре. Нагиб осе ротације код овог кретања описује конус. У случају прецесионог кретања Земље, период током којег Земљина оса направи пун круг по том конусу износи око 25.800 година. Због тога се положај звезде Северњаче мења уколико се посматра током дужег временског периода.

[4] Раван еклиптике је раван у којој се налази Земљина орбита на свом годишњем путу обиласка око Сунца. Угао између нагиба Земљине осе и равни еклиптике износи око 23,5°.

[5] Немачки математичар Лудвиг Пилгрим је 1904. године израчунао да те промене износе од 22,1° до 24,5°.

5. Урбанизам локалитета

Треба скренути пажњу и на чињеницу да нису само појединачне куће грађене због примене пасивног соларног загревања. Наиме, цело насеље има форму која се уклапа у природни амбијент, а већ смо приметили да насеље има терасаст изглед. У литератури (Бајић и Павловић 2015: 100–107) је констатовано да се први јутарњи зрак Сунца могао видети готово у свим кућама овог насеља. Овај податак је веома важан зато што је због потреба загревања и сушења станишта било важно да куће не бацају сенку једна на другу. Насеље је брижљиво планирано у том смислу. То је урбанистички параметар који у пасивној соларној архитектури има изузетну улогу. Услед конфигурације терена, куће су грађене у редовима који су један изнад другог, и на тај начин се омогућава посматрање *изгревања* Сунца у свим кућама. Треба напоменути да је у јужним српским говорима сачувана реч *изгревак* за први јутарњи зрак Сунца (Милорадовић С. 2017: 31–62), док се у македонском језику термин изгревање односи на излазак и Сунца и Месеца, као и у бугарском. Због тога што је Сунце и извор топлоте, а не само светлости, изгревање се може користити као примена Сунчеве енергије за потребе узгревања и сушења.



Сл. 5 - Терасаст изглед насеља (Бајић и Павловић 2015)
Fig. 5 - Terrace look of the settlement (Бајић и Павловић 2015)

Цела увала подсећа на некакав биоскоп, позориште, можда амфитеатар у којем су, метафорички посматрано, куће постављене уместо седишта, док је на позорници у главној улози – Сунце, чији се излазак може посматрати из готово сваке куће. Те куће не ометају једна другој поглед ка источном хоризонту, што се може видети и на сл. 5, преузетој из литературе (Бајић и Павловић 2015: 100–107).

6. Сличност са „Сократовом кућом“

Сократ, грчки филозоф из IV века пре нове ере, бавио се и питањима комфорног становања. У једном разговору Сократ одговара на питање: „Није ли пријатно имати лети хладну, а зими топлу кућу?”, и каже да треба „јужну страну куће подизати више, да се одбије зимско сунце, а северну страну ниже, да не ударају студени ветрови“. Та кућа је у стручној литератури позната као Сократова кућа, а поред овог назива користи се и израз Сунчана кућа (Бајић и Павловић 2015: 100–107).

Реконструкције Сократове куће – куће која је пријатна за становање – настале су накнадно. Треба напоменути да куће на Лепенском Виру, које су вековима претходиле Сократовој расправи, одговарају његовој замисли, с тим што је коришћена претежно источна оријентација због услова конфигурације терена. На тај се начин архитектура Лепенског Вира може везати за појам Сократове куће. Асиметричност основица кућа на Лепенском Виру у потпуном је складу са Сократовом идејом о примени Сунчевог зрачења.

7. Закључак

Проблеми са којима су се суочавали древни неимари у изградњи кућа веома су слични проблемима са којима се и ми данас сусрећемо. Током протеклих 8.000 година климатско окружење се само незнатно променило. Потребе за изградњом комфорног станишта, које су у складу са природним окружењем, као и настали проблеми који се том приликом решавају, били су исти некада као и сада.

Процват соларне архитектуре у новије време десио се после ископавања на Лепенском Виру, средином седамдесетих година, након почетка енергетске кризе и тзв. „нафтног шока“, те због тога приликом ископавања на Лепенском Виру није била обраћана пажња на аспекте биоклиматске и пасивне соларне архитектуре.

У архитектури насеља Лепенски Вир и Падина – Госпођин Вир веома су изражени принципи пасивне соларне и биоклиматске архитектуре, и виде се примењене мере за повећање енергетске ефикасности и смањење размене енергије куће са околином. За познавање тих принципа потребна су елементарна знања из астрономије, географије, метеорологије, познавања материјала и из других струка. Смисао архитектуре ових насеља може се сагледати тек када се узму у обзир природно и климатско окружење и утицај Сунчевог зрачења, заједно са кретањем Сунца по небеској сфери. Представљена је израчуната оптимална оријентација кућа на основу географских и астрономских података локације Лепенског Вира, као и базе података типичне метеоролошке године за Неготин, који је удаљен 54 km ваздушном линијом од Лепенског Вира. Пошто је та оријентација приближна оствареној оријентацији саграђених кућа праисторијског насеља, сматрам да се у овом случају може говорити о првобитној пасивној соларној и биоклиматској

архитектури. Такође, сматрам и да промене настале током последњих 8.000 година не утичу значајно на избор оптималне оријентације кућа.

Становници Лепенског Вира и Падине – Госпођин Вир били су свесни појединих принципа биоклиматске архитектуре. Доказ за то су управо остаци архитектуре (подови кућа) и природно окружење локалитета, укључујући и кретање Сунца по небеској сфери. Такође, доказ је и то што је у тим кућама и на том локалитету живело много генерација (сетимо се овде дефиниције одрживог развоја). Остаци архитектуре Лепенског Вира су неми сведоци мера примењених за побољшање енергетске ефикасности. Куће Лепенског Вира и Падине – Госпођин Вир представљају пример енергетски ефикасне градње за оно доба, за дате локације, за тадашње стање технологије и примењене материјале, и стога су знатно допринеле дуготрајности насеља.

Архитектура Лепенског Вира није настала случајно, јер су слични остаци кућа пронађени и на локалитету Падина – Госпођин Вир. Даље, не разликују се знатно ни микроклиматски услови у којима је ова архитектура настала. Нису само појединачне куће биле енергетски ефикасне, већ су и оба насеља била у том смислу брижљиво планирана.

Ове праисторијске куће биле су комфорне за оно доба, о чему сведочи и чињеница да је у тим кућама повећана термостабилност станишта. На питање због чега је дошло до повећања броја људи, у литератури налазимо следећи одговор: „Можемо претпоставити да је један од кључних узрока демографске експанзије човечанства побољшање климатских услова (...) због чега су се порођаји дешавали у термално повољнијим условима. Истовремено, неолит је донео и важну новину – живот у кући, што је вероватно довело до тога да су се у кућама одвијали и порођаји. (...) Могуће је да се све већи број беба рађао у термално стабилним условима што је и данас један од кључних предуслова преживљавања новорођенчади“ (Стефановић 2001: 151–157).

На питање инжењера Хелмута Крамеса с почетка овог рада: „Да ли су у праисторији марили за енергетску ефикасност у зградарству?”, одговор, дакле, гласи: „У остацима архитектуре културе Лепенског Вира (укључујући и локалитет Падину – Госпођин Вир), која је настала пре око 8.000 година, видљиве су и препознатљиве мере за повећање енергетске ефикасности у зградарству, а које су примењене током осмишљавања и грађења кућа и насеља на поменутим локацијама. Иако нема писаних трагова, основе кућа сведоче о примењеним мерама, које свој смисао добијају тек када се посматрају у склопу природног (географског, метеоролошког, биљног и астрономског) окружења. За разумевање сврхе архитектуре културе Лепенског Вира веома је важна улога Сунца и Сунчевог зрачења на локалитетима. Иако не можемо са сигурношћу знати како су те куће на Лепенском Виру заиста изгледале, ипак можемо поуздано закључити, само на основу остатака архитектуре, да је сврха таквог начина градње била у остваривању комфорног боравка у

њима, уз вођење рачуна о енергетској ефикасности у зградарству. Трећа димензија кућа, иако непозната, морала је пратити облик сачуване основице“ (Miloradović N. 2016: 54–59).

Остаци архитектуре на Лепенском Виру и Падини – Госпођин Вир представљају остатке енергетски ефикасне архитектуре, а њихова се станишта с правом могу назвати биоклиматским. Биоклиматски карактер ових станишта нипошто не негира сакрални карактер архитектуре. Напротив, он само доприноси његовом бољем разумевању.

Литература

Бабовић Љубинка, *Светилишта Лепенског Вира, Место, положај и функција / Sanctuaries of Lepenski Vir, Location, position and function*, Народни музеј, Београд, 2006, пл. 3.

Бајић Александра, Павловић Христивоје, *Сунце Лепенског Вира*, Влашићи, Београд, 2015.

Борић Душан, *Апсолутна хронологија Лепенског Вира,* у: *Водич кроз културу Лепенски Вир*, Народни музеј, Београд, 2002, стр. 29–35.

Крамес Хелмут, *Енергетска ефикасност зграда – искуства Европске уније и Савезне Републике Немачке*, Презентација од 8. 11. 2014. на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Миланковић Ј. Јелена, *Дунав као саобраћајна артерија и осовина развоја у Републици Србији*, докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду, Природно–математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад, 2015.

Милорадовић Ненад, *Неолитска архитектура у Србији и одрживи развој*, Зборник радова са 37. Конгреса КГХ, СМЕИТС, Београд, 2006, стр. 315–320.

Милорадовић Ненад, *Термички аспекти градње кућа – историјат и перспективе (прилог одрживом развоју)*, Грађевинска књига, Београд, 2009.

Милорадовић Софија, *Именовање времена у призренско-тимочким народним говорима. На материјалу дијалекатских речника из Врања, Нишке Каменице и Тимока* у *Језик, књижевност, време. Језичка истраживања*, Ниш: Филозофски факултет, 2017, 31–62.

Михаиловић Душан, *Природни оквири*, у: *Водич кроз културу Лепенски Вир*, Народни музеј, Београд, 2002, стр. 25–27.

Пуцар Мила, *Биоклиматска архитектура – застакљени простори и пасивни соларни системи*, Посебна издања ИАУС бр. 45, Институт за архитектуру и урбанизам Србије, Београд, 2006.

Радовановић Ивана, *Станишта Лепенског Вира*, *Стратиграфија и насеље*, у: *Водич кроз културу Лепенски Вир*, Народни музеј, Београд, 2002.

Радосављевић Јасмина, Павловић Томислав и Ламбић Мирослав, *Соларна енергетика и одрживи развој*, Грађевинска књига, Београд, 2004.

Републички хидро-метеоролошки завод Србије, *Климатске карактеристике Србије*, РХМЗС, Београд, 2016.

Срејовић Драгослав, *Лепенски Вир, нова праисторијска култура у Подунављу*, СКЗ, Београд, 1969.

Станковић Стеван, *Национални парк Ђердап – полифункционална туристичка регија*, Гласник српског географског друштва, свеска LXXXIII бр. 1, 2003, стр. 43–56.
Стефановић Софија, *Скелетни остаци древних људу у Ђердапу*, у: *Водич кроз културу Лепенски Вир*, Народни музеј, Београд, 2002, стр. 151–157.
Miloradović Nenad, *Lepenski Vir – the prehistoric energy efficient architecture,* REHVA Journal, REHVA, 05/2016, pp. 54–59.
Radić M. Zoran, *Some puzzles about the Danubean and European cultural history and Connections of civilization development with Climate, Water and Hidrology*, www.medhycos.mpl.ird.fr/doc/zoran.htm .

Nenad B. Miloradović
PUC Beogradske elektrane

BIOCLIMATIC AND PASSIVE SOLAR ARCHITECTURE OF SITES AT LEPENSKI VIR AND PADINA – GOSPOĐIN VIR

The remains of the architecture of Lepenski Vir (including the Padina – Gospođin Vir site), which emerged some 8,000 years ago, indicate to recognizable measures aimed at increasing energy efficiency in building stock, which were implemented in the design and construction of houses and settlements at those sites. This paper presents why is such architecture energy efficient (for that time), gives review of optimal orientation for heating and cooling needs, aspect of urbanism and shows similarity with Socrates house. Having in mind geographical and astronomical data on Lepenski Vir and data on a typical meteorological year for Negotin, optimal orientation of the houses for the purpose of heating and cooling was calculated. This orientation is close to the orientation achieved for the constructed houses of the prehistoric settlement, so in this case we may speak about original passive solar and bioclimatic architecture.