



ISSN (E): 2181-4570

## UCH O'LCHAMLI MURAKKAB FRAKTALLARNI QUYOSH ENERGIYASINI YIG'ISH UCHUN L-TIZIM DARAXT GEOMETRIYASI TUZILMASI

**Bekmirzayev D, A<sup>1</sup>, Ibragimov A**

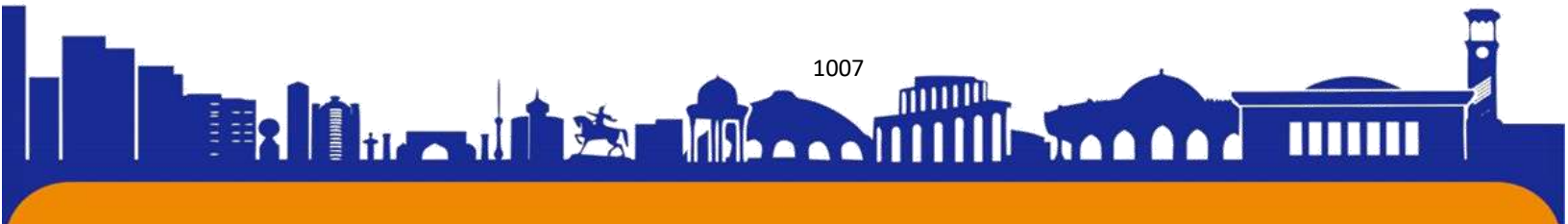
[ibragimovgani0103@gmail.com](mailto:ibragimovgani0103@gmail.com)

<sup>1</sup>Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti,  
Toshkent, O'zbekiston.

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada uch o'lchamli murakkab fraktallarni quyosh energiyasini yig'ishda L-tizim daraxt geometriyasi tuzilmasini optimallashtirish o'rganib chiqildi.

**Kalit so'zlar:** Quyosh energiyasini yig'ish uchun Lindenmayer tizimlaridan daraxt geometriyasi tuzilmalaridan foydalanishning birinchi miqdoriy tadqiqoti berilgan. Ushbu hisoblash tadqiqoti Geant4 Monte-Karlo simulyatsiya tizimidan o'zboshimchalik bilan murakkab geometriyalarni boshqarishda moslashuvchanligi va real fizika simulyatsiyasi imkoniyatlari, bu holda ptik fotonlarni tashish uchun foydalanadi. Yassi panelli fotovoltaik tuzilmalarga muqobil ravishda tabiatdan ilhomlangan daraxt geometriyalarini simulyatsiya qilish va o'rganish uchun quyosh nurlanishining haqiqiy hisob-kitoblaridan foydalanishga harakat qilinmoqda. Fotovoltaik (PV) daraxtining ushbu kontseptsiyasi, PVTree, fotovoltaik energiya ishlab chiqarish texnologiyasini jamoatchilik idrokida bosqichma-bosqich o'zgartirishga qaratilgan.

Fotovoltaik (PV) energiya yig'ish texnologiyasi uchun xarajatlar tez kamayib borayotgan stsenariyda texnologiyani real dunyo ilovalarida qo'llash va joriy etish bo'yicha yangi tadqiqot savollari ochiladi. Bizning tadqiqotimizga asoslanadigan aniq bir kontseptsiya [1] da kashshof bo'ldi, ya'ni mavjud tekis panelli qurilmalardan farqli o'laroq, uch o'lchovli PV tuzilmalarini ko'rib chiqish. Biz ilgari surayotgan yangi kontseptual element - [1, 3] yoki quyosh daraxti kabi bepul kompyuterda yaratilgan sun'iy tuzilmalar emas, balki tabiatdan ilhomlangan dizayn, biomimikriya, PVTree [2] deb nomlangan daraxt tuzilmalarining umumiy tabiiy ko'rinishidagi dizaynni ko'rib chiqishdir. tuzilmalarni [4] dagi kabi yozing.





Arzon PV texnologiyasini taxmin qilish, ya'ni yorug'likni boshqa energiya shakliga, odatda elektr energiyasiga qabul qiluvchi va o'zgartiruvchi elementlarning jismoniy amalga oshirilishi 3DPV ni ko'rib chiqishda zaruriy shartdir [1]. 3DPV uchun energiya zichligi o'lchovi bo'lgan har bir oyoq izi maydoniga sezilarli darajada ko'paygan energiya PV elementlarining sezilarli darajada ko'payishi bilan qarshi turadi, ya'ni bu PV elementlari ustun xarajat omili bo'la olmaydi. [1] dagi ushbu umumiy tadqiqot natijasi katta umumiy maydonlarni qo'shib, ko'plab individual barglari bo'lgan daraxtlar kabi tuzilmalarni ko'rib chiqishda yanada muhimroqdir. Shuning uchun bizning tadqiqotimiz, xususan, kremniyga asoslangan, organik yoki boshqa texnologiyaga tayanmasdan, PV elementlari uchun har doim kamayib borayotgan xarajatlar prognoziga asoslanadi. Ayniqsa, 3DPV va PVTrees-ni ko'rib chiqishning afzalliklari, bizning fikrimizcha, faraziy kelajakdagi arzon PV qurilmalarini etkazib berish xavfidan ustun turadi. Yassi panelli quyosh energiyasidan uzoqlashish (a) vaqt o'tishi bilan bir hil energiya ishlab chiqarishga olib keladi, quyida ko'ring va [3], quvvat taqsimlash tizimlari uchun foydali, (b) statik qurilmalar bilan aks ettirilgan va tarqalgan yorug'likdan foydalanishning ko'payishi va eng muhimi, (c) o'rnatishning sezilarli darajada qisqarganligi sababli energiya ishlab chiqarish uchun erdan foydalanishning keskin kamayishi. [3] da 3DPV har bir faol material maydoniga maksimal energiya etkazib beradigan tekis panellardan farqli o'laroq, har bir oyoq izi maydoni uchun maksimal energiyani etkazib berishi da'vo qilinadi. 3DPV ning ushbu umumiy afzalliklariga qo'shilish, masalan, PVTrees shaklida quyosh energiyasi qurilmalarini jamoatchilik tomonidan qabul qilinishi, quyosh energiyasini qabul qilishga katta ta'sir ko'rsatishi mumkin.

### **Nima uchun daraxtlar?**

Yuqorida muhokama qilingan taxminlarni hisobga olsak, kelajakda quyosh energiyasini yig'ish texnologiyasini qo'llash qanday bo'lishi mumkin? Mavjud tekis panelli tuzilmalarga qaraganda quyosh PV dan foydalanishni ko'paytirishda muvaffaqiyatliroq stsenariy bormi? Bu savollarga javobimiz atrof-muhitdan ilhom olish va daraxtlar kabi 3D fotovoltaik tuzilmalarning tabiiy amalga oshirilishini ko'rib chiqishdan iborat. Biz hozirgi quyosh PV qurilmalarining estetikasini muhokama qilishga potentsial ta'sir ko'rsatamiz, ayniqsa, retro-fitting tekis panellar ko'pincha yagona variant bo'lgan uy sharoitida. PVTrees gorizontaal bo'shliqqa chanqoq echimlarga emas, balki vertikal, bo'sh joyni tejaydigan echimlarga o'tadigan muqobil





shakl omilini taklif qiladi. Daraxtlar fotosintezga qo'shimcha ravishda ozuqa moddalarini tashish va suvni boshqarish kabi ko'plab talablarni muvozanatlashi kerak. Bizning PVTree kontseptsiyasi bir yil davomida yorug'likni maksimal darajada singdirishi kerak, shuning uchun tabiiy daraxtlardan farqli tuzilishga aylanishi mumkin. Shunga qaramay, tabiiy daraxt tuzilmalari birinchi taxminiy bo'lib xizmat qilishi kutilmoqda. Bu kutish qisman estetika va jamoatchilik tomonidan qabul qilingan [2] va qisman fizikaga asoslangan. Barglari ko'p yo'nalishlarga yo'naltirilgan yorug'lik qabul qiluvchisi bo'lgan daraxt konstruktsiyasi vaqt funksiyasi sifatida soyabon qismlarini passiv quyosh kuzatuv bilan bir qatorda bir yil davomida bilvosita yorug'likdan doimiy ravishda foydalanish imkoniyatini beradi. E'tibor bering, PV texnologiyasini amalga oshirishning mustaqilligi bizga barcha PV texnologiyalarida asosiy birinchi bosqich sifatida yorug'likni qabul qilishga to'liq e'tibor qaratishga imkon beradi. Istalgan yakuniy mahsulotni, gaz yoki elektr tokini yoki boshqa natijalarni ishlab chiqarish samaradorligi hisoblash tadqiqoti uchun ko'payadigan global omil hisoblanadi. Maxsus PV texnologiyasi echimlari materiallar va ularning optik xususiyatlari ko'rinishida hisob-kitoblarni kiritadi.

Ushbu loyiha bo'yicha talab qilinadigan hisob-kitoblar uchta alohida muammo sifatida tuzilishi mumkin, ulardan ikkitasi ushbu maqolada muhokama qilinadi, uchinchi muammo esa ish davom etmoqda:

1. Daraxtga o'xshash tuzilmalarni kompyuterda tasvirlash uchun hisoblash geometriyasi. Ushbu daraxtlar yorug'lik o'zaro ta'siriga nisbatan faol va passiv elementlarni o'z ichiga olishi kerak, ya'ni PVga sezgir, faol, PV qurilmalarini barglar sifatida ifodalovchi yuzalar va shoxlar va magistral kabi strukturaviy, passiv qismlar. Bundan tashqari, geometriya tavsifi to'siqlar, turli xil tuproq sharoitlari yoki boshqa daraxtlar kabi daraxt uchun haqiqiy muhitni aniqlash erkinligini ta'minlashi kerak.

2. O'zboshimchalik bilan joylashgan joylar va muhitlar uchun haqiqiy quyosh spektrlarini yaratish va keyingi optik hisoblar yoki fotonlarni tashishning to'liq simulyatsiyasini o'z ichiga olgan yorug'lik ishlab chiqarish va tarqalishini amalga oshirish kerak. Ushbu bosqichda materiallarni real tarzda amalga oshirish ham natijalarning ishonchliligiga yordam beradi.

3. Shaxsiy natijalar kompyuter yordamida ikkita bir-birini to'ldiruvchi usulda optimallashtiriladi: Daraxt geometriyasi va uning parametrlarini hisobga olgan holda, parametrlar maydonining nisbatan yuqori o'lchamliligi tufayli zarrachalar to'dasi





algoritmi [5] yordamida optimallashtirilgan parametrlar to'plami qidiriladi. har bir alohida daraxt geometriyasi. Bundan tashqari, hisoblash daraxtini tavsiflash usuli genetik algoritmlardan foydalanib, oxir-oqibat butun daraxt tuzilmalarini o'zgartirishga imkon beradi va tadqiqot uchun yangi parametr bo'shliqlarini yaratadi.

### **Monte-Karlo geometriyasi uchun L-tizimlari**

Ixtiyoriy daraxtsimon tuzilmalar bu erda Lindenmayer tizimlari, L-tizimlar shaklida tasvirlangan [6, 7]. Biz ixtiyoriy geometriya va materiallarda fotonlarni tashishni modellashtirish uchun Geant4 zarrachalarni tashish simulyatsiya tizimidan foydalanamiz [8]. Lindenmayer tizimi [6] fraktal tuzilmalarni yaratishning oddiy va ixcham usulini ifodalaydi. Bu aksioma deb ataladigan harflarning oddiy birikmasidan boshlanadigan qayta yozish tizimi bo'lib, har bir harfni belgilangan qoidalarga, ishlab chiqarishlarga muvofiq almashtirish va harflarning uzunroq ketma-ketligini yaratish. Harflar va ishlab chiqarishlar to'plami deterministik kontekstsiz L-tizimini belgilaydi. Ayniqsa, geometriya va o'simlik tuzilmalari bilan bog'lanish harflar to'plamining har bir elementini grafik buyruqlarga tarjima qilishdan kelib chiqadi, ularning har biri parametr qiymatlarining funksiyasi bo'lishi mumkin. Masalan, oldinga siljish uchun grafik buyruq uzunlik qiymatini olishi mumkin. Ko'p qirrali harflar, buyruqlar to'plami asl matndagi muhokamaga qat'iy amal qiladi [7] va fraktallar sifatida 3D o'simlikka o'xshash tuzilmalarni yaratish uchun uchta mustaqil fazo vektorida harakat qiluvchi ko'chirish, aylantirish va tarmoqlanish buyruqlarini o'z ichiga oladi. Takroriy takrorlash jarayoni o'sib borayotgan buyruqlar ketma-ketligini va shuning uchun har bir iteratsiyada yanada murakkab tuzilmalarni yaratadi. (Virtual) tuzilmalarning nazoratsiz o'sishi, strukturani tekshirish uchun etarlicha real deb hisoblashdan oldin, geometriyaning bir-biriga mos kelishini olib tashlash uchun avtomatlashtirilgan jarayonni ham nazarda tutadi. Hozirda L-tizimlarining genetik algoritmi modifikatsiyalarisiz ishlayotgan, oldindan belgilangan urug'lar aniq daraxt geometriyalari va ularning parametrlarini o'rganishga imkon beradi. Allaqachon amalga oshirilgan tuzilmalar monopodial, simpodial, uchlik va spiral sifatida tasniflanadi, 2-rasmga qarang.

1. Tasdiqlash uchun o'zgaruvchan tekis panelli geometriya ham tuzilmaning mavjud tanlovidir. U har qanday yo'nalishda aylanish va egilish uchun to'liq erkinlikka ega bo'lgan tarzda qurilgan, lekin panel o'lchami  $1 \text{ m}^2$  kvadratga o'rnatiladi. Har bir daraxt strukturasi o'zgaruvchan barg tuzilmalari bilan to'ldirilishi mumkin, yana o'z



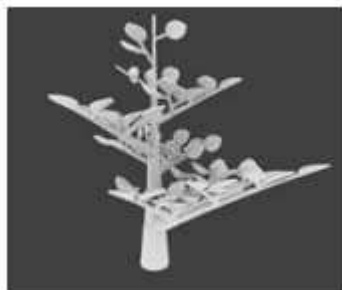


parametrlari ro'yxati, tartibga soluvchi shakli va eng muhimi, hajmi. Individual barglar har ikki tomonda ham sezgir bo'lib, umumiy bir tomonlama fotovoltaik elementlardan farqli o'laroq, organik barglarga o'xshaydi. Bu g'ayrioddiy tanlov, xuddi butun PVTree kontseptsiyasi singari, individual PV elementi, ya'ni barg uchun past og'irlikdagi qo'shimcha faraz bilan arzon narxlardagi PV texnologiyasiga tayanadi. Har qanday turdagi yupqa plyonkali fotovoltaiklar, nisbatan og'ir va qattiq shisha qadoqlashdan farqli o'laroq, engil vaznli qadoqlash texnologiyasi bilan birlashtirilishi mumkin deb hisoblasak, bu holda asosiy nomzod texnologiya bo'ladi.

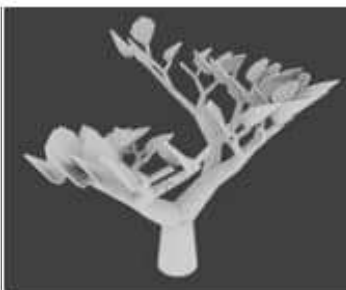
Genetik algoritmnini optimallashtirishga qaratilgan keyingi qadam ko'pchilikni va'da qiladi

[9] da o'simlik tuzilmalari uchun muhokama qilinganidek ko'proq o'zgarishlar. Bu maxsus

L-tizimlarida genetik algoritmlarni qo'llash o'simlikshunoslik [10] va kompyuter grafikasida [11] turli xil ilovalarga qiziqish uyg'otdi. Xulosa qilib aytganda, ushbu maqolada keltirilgan tuzilmalarning asosiy elementlari va optik xususiyatlari quyidagilardan iborat:



(a) monopodial daraxt



(b) simpodial daraxt



(c) spiral daraxt



(d) uchlanchi daraxt





1-rasm: Ushbu loyiha uchun ishlatiladigan L-tizimli o'simlik tuzilmalari: (a) monopodial daraxt tuzilishi, (b) simpodial, (c) spiral va (d) uchlamchi daraxt. Display har bir daraxt turini barg tuzilmalari bilan ko'rsatadi. Ushbu L-tizimlarning har biri ma'lum bir aksioma va almashtirish qoidasiga mos keladi, muhokama qilish uchun matnga qarang. E'tibor bering, rasmlarda kompyuterda yaratilgan grafik emas, balki ko'rgazmalar va targ'ibot uchun ishlatiladigan 3D bosilgan misollar ko'rsatilgan.

L-tizim: dunyoda markazlashtirilgan joy, poya va novdalar qattiq, 100% ko'zgu aks ettiruvchi, tarqalmagan.

- Barglar: Agar boshqa hajm bilan bir-birining ustiga chiqmasa, har qanday filialning har ikki uchida joylashgan uch qavatli tuzilmalar. Tashqi ikki qatlam o'rash materialini taqlid qiladi, bu 95% shaffof, o'tkazmaydigan, odatdagi plastmassalarning sinishi ko'rsatkichi 1,49. Ichki qatlam 100% fotonni yutish samaradorligiga ega bo'lgan PV elementi bo'lib, keyinchalik texnologiyaga qarab real samaradorlikka erishish imkonini beradi. Boshqa optik xususiyatlar dispers bo'lmagan kremniyga o'xshaydi.

Ushbu moddiy xususiyatlar murosani ifodalaydi. Ular bir texnologiyani boshqasidan ustun qo'yib, juda real bo'lmasdan, simulyatsiyalardan ishonchli natijalarga erishish uchun etarlicha batafsil ko'rib chiqiladi. Muayyan dastur sozlamalari va texnologiyani tanlash uchun atrof-muhit tuzilmalari va materiallar xususiyatlarini batafsilroq aniqlash oson bo'lar edi, xususan, ushbu tadqiqot uchun dispersiya xususiyatlari e'tiborga olinmagan.

### **Quyosh nurlanishining simulyatsiya modeli.**

Geometriya aniqlangandan so'ng, barcha optik hisoblar Geant4-da to'liq fotonlarni tashish simulyatsiyasi sifatida amalga oshiriladi. Ushbu tizim ixtiyoriy geometriyalarda va to'liq sozlanishi manbaga ega bo'lgan materiallarda batafsil fotonlarni tashish fizikasiga ruxsat beradi [8]. Nurni kuzatish dasturi fotonlarni tashishning tezroq yechimi bo'lsa-da, [4] ga qarang, statik muhitlar, materiallar va ularning optik xususiyatlarini, shuningdek, Quyoshni o'z ichiga olgan kodda to'liq geometriyalarni belgilash erkinligi Geant4 ramkasini biz uchun ideal echim sifatida qoldirdi. talablar. Hozirgacha kuchning katta qismi bir necha yil davomida Yerdagi ma'lum bir joylashuv va iqlim ma'lumotlari uchun quyosh nurlanishini iloji boricha real tarzda modellashtirishga sarflangan. To'g'ridan-to'g'ri normal nurlanish, shuningdek, diffuz va global nurlanish quyosh spektrlari SMARTS kodidan foydalangan holda olingan [12]. Osmon gumbazi bo'ylab tarqalgan yorug'likning burchak taqsimoti

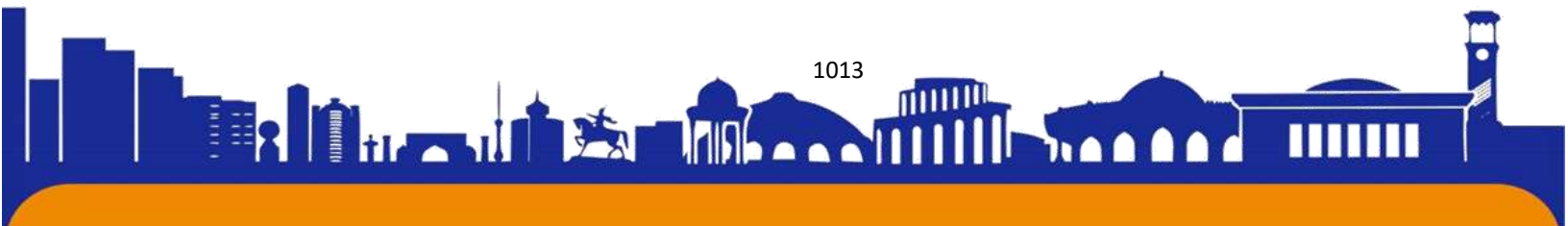


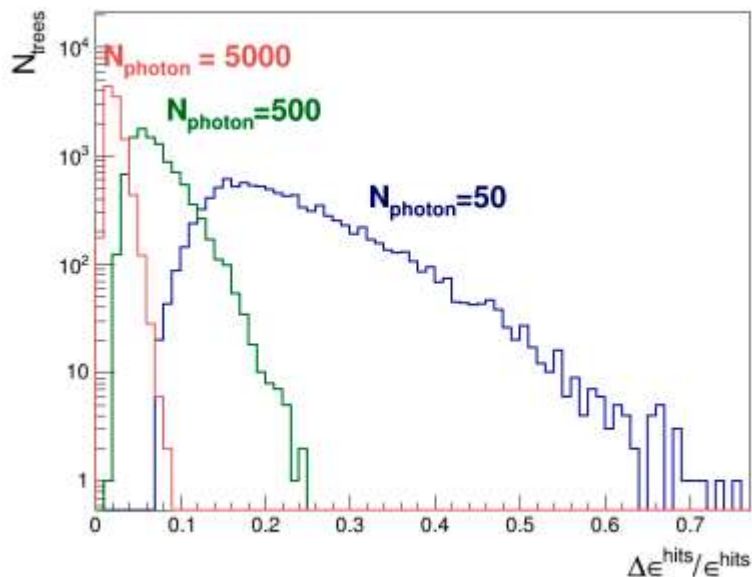


Hosek, Wilkie modeliga muvofiq modellashtirilgan [13]. Buning o'rniga to'g'ridan-to'g'ri normal nurlanish yorug'lik nurlarining parallel to'plami sifatida modellashtirilgan bo'lib, u butun tegishli tuzilmani vaqt funktsiyasi sifatida Quyosh pozitsiyasidan yoritish uchun etarlicha katta.

Quyosh nurida mavjud bo'lgan ko'p sonli individual fotonlarni taqlid qilish fotonlarni tashish kodi uchun haqiqiy emas. Biroq, Monte-Karlo printsipi tafovutlarni kamaytirish texnikasi sifatida og'irlikdagi hodisalarni baholashdan foydalanishga ruxsat beradi. Bu quyidagicha amalga oshirildi: SMARTS kodi ma'lum bir joy va vaqt uchun nurlanish hissalarining umumiy qiymatlarini hamda spektral taqsimotlarni beradi. To'g'ridan-to'g'ri normal nurlanish uchun manba maydoni uchun vattdagi integral umumiy quvvatga aylantiriladi va simulyatsiya qilinadigan fotonlar soniga vatt birliklarida teng kasr og'irliklarida taqsimlanadi. Har bir foton ko'zgu va sinishi kabi to'g'ri transport optikasini ta'minlash uchun SMARTS spektridan tasodifiy tanlab olingan individual to'lqin uzunligini oladi. Biroq, fotonning balli energiyani emas, balki og'irlik omilini qayd etadi. Ushbu dispersiyani kamaytirish sxemasiga asos bo'lgan taxmin shundan iboratki, har bir simulyatsiya qilingan foton unga tortish omili sifatida tayinlangan quvvat miqdori bo'yicha butun foton to'plamini ifodalaydi.

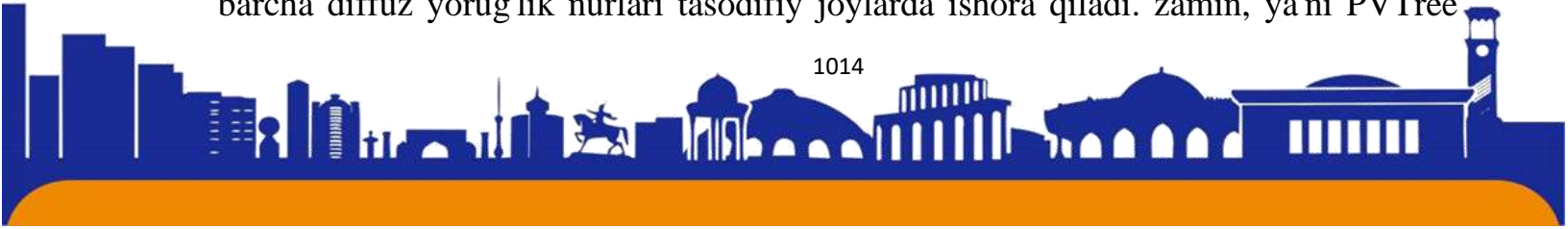
Monte-Karlo simulyatsiyasi usuli va vositalarini tasdiqlash birinchi navbatda geometriyaning har bir qismini alohida tekshirishni, ikkinchidan esa berilgan geometriya uchun butun transport simulyatsiyasining konvergensiya testlarini o'z ichiga oladi, 2-rasmga qarang:





Bu erda uchta nisbiy zarba samaradorligi noaniqlik taqsimoti ko'rsatilgan. turli xil umumiy fotonlar soni simulyatsiyasi. Simulyatsiya ko'p sonli tekis panel geometriyalari va simulyatsiya takrorlari uchun 10 vaqt segmentida to'liq kunni modellashtiradi. Sifatida simulyatsiya qilingan foton raqamlari foton urishi sonining tizimli noaniqliklarini oshiradi, bu holda simulyatsiya samaradorligi kutilganidek kamayadi, ya'ni simulyatsiya birlashadi.

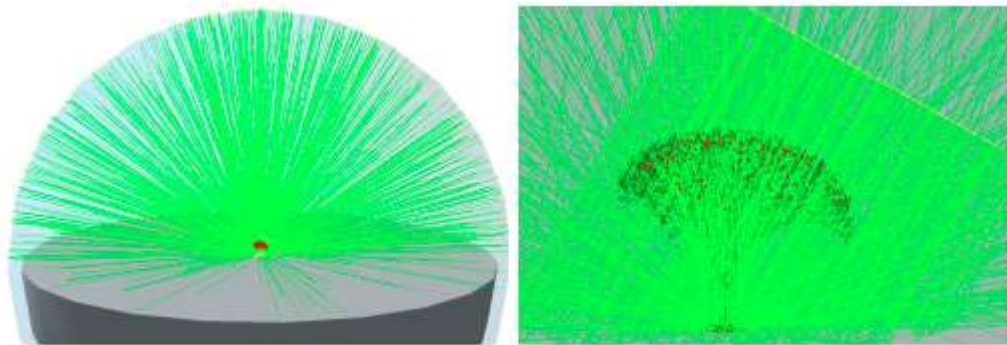
2-rasm. Konvergentsiya testlari, shuningdek, berilgan tizimli noaniqlik chegarasiga erishish uchun simulyatsiya talablarini ishlab chiqishga yordam beradi. Hisoblash samaradorligi va Quyoshni real modellashtirish o'rtasidagi muvozanat (yuqoriga qarang) Quyoshning markazida joylashgan cheklangan radiusli disk shaklida to'g'ridan-to'g'ri normal nurlanishni amalga oshirish va fotonlarning parallel nurlarini chiqaradigan murosaga olib keldi. Diskning o'lchami PVTree maksimal hajmining prognoz qilingan radiusidan kattaroq sifatida aniqlanadi. Bu murosaga butun sahnani, simulyatsiya qilingan dunyoni yoritmasdan butun daraxt geometriyasini yoritadi, bu yanada realroq, ammo samarasiz bo'ladi. Biroq, diffuz nurlanish Xosek, Wilkie modeli [13] bo'yicha burchak taqsimoti bilan yarim shardan kelib chiqadi, deb modellashtirilgan, 3-rasmga qarang. Quyosh nurining bu komponenti uchun murosaga barcha diffuz yorug'lik nurlari tasodifiy joylarda ishora qiladi. zamin, ya'ni PVTree







barglarini tasodifiy ushlab turish yoki yo'q. To'liq xususiyatli simulyatsiya har bir sezgir element, har bir barg uchun diffuz nurlanishni o'ziga xos moslashtirilgan burchak taqsimoti bilan alohida tavsiflaydi. Kodeksda dominant diffuz nurlanishga olib keladigan ob-havo sharoiti joriy etilgandan so'ng, bu takomillashtirish zaruriy qadam hisoblanadi. Hozirgacha SMARTS-dan tarqalgan nurlanish komponenti har doim subdominant sifatida hisoblanadi, ya'ni quyida keltirilgan barcha natijalar tuman uchun bir oz ruxsat etilgan holda ko'k osmon sharoitida olinadi.



(a) Simulyatsiya qilingan dunyoning to'liq ko'rinishi. (b) Zoomed in view of tree simulation.

Tarqalgan nurlanishni kiritish muammosi [13] kabi fenomenologik modellarga kiritilgan atmosfera sharoitlarini tavsiflashdir. Yaxshi hujjatlashtirilgan usullardan birini Peres modelida topish mumkin [14], bunda har bir parametr atmosfera fizikasi kuzatilishi mumkin bo'lgan narsalar bilan bog'langan. Bu [13] uchun bunday emas, lekin uning matematik modellashtirish Peres modelida yaxshilangan ko'rinadi, bu esa ushbu ishda [13] ni qabul qilish uchun sababdir. Biroq, [13] da ularning parametrlarini Peres modeli parametrlariga ulash uchun bir qancha harakatlar qilingan. Masalan, ularning loyqaligini Perez yorqinligi parametri bilan bog'lash mumkin, buning afzalligi SMARTS-dan to'g'ridan-to'g'ri nurlanish (diffuz global) qiymatlaridan hisoblanishi mumkin. Groundreflective albedo [14] yoki SMARTS da mavjud emas, chunki kontseptsiya ushbu tadqiqot uchun ma'lum bir joydagi iqlim ma'lumotlaridan olingan.

### Simulyatsiya jarayonlari

Simulyatsiya sobit muhitda sobit daraxt tuzilishi uchun olingan yorug'lik miqdori bo'yicha raqamli natijalar beradi. Bunday sahnaning vaqtga bog'liqligi yorug'lik manbasini - Quyoshni kun davomida diskret vaqt bosqichlarida o'zgartirish va keyinchalik bu bosqichlar o'rtasida interpolyatsiya qilish orqali amalga oshiriladi. Bu





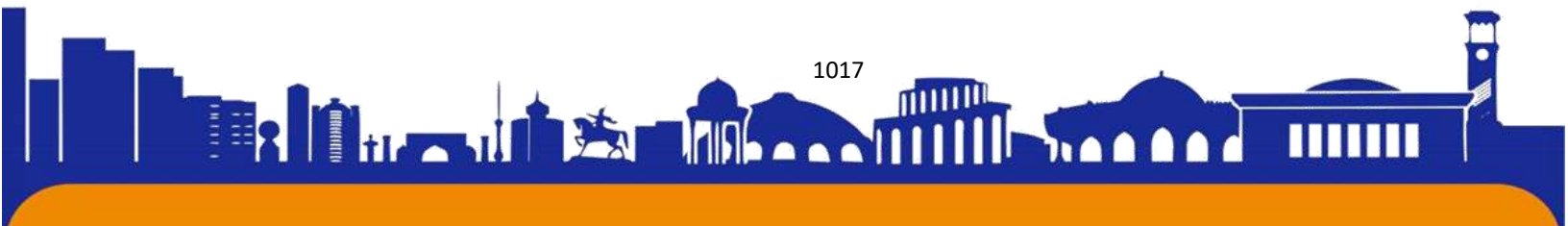
jarayon kunlik simulyatsiyaga yoki butun yil davomida takrorlanishiga olib kelishi mumkin. Quyosh holatini hisoblashda Solpos kodidan foydalaniladi [15]. Vaqtga qo'shimcha ravishda uning talab qilinadigan kiritilishi simulyatsiya qilingan joylashuvdir, bu erda Buyuk Britaniyaning Koventri shahridagi Uorvik universiteti kampusi. Quyoshning vaqti va joylashuvi ma'lum bo'lgach, tanlangan iqlim ma'lumotlari SMARTS dasturiga kirish sifatida olinadi. Hozirgi vaqtda kod 2005 yildan 2015 yilgacha bo'lgan Evropa iqlim ma'lumotlariga Jahon Meteorologiya Tashkilotining standart gridded binar (GRIB) fayl formati ko'rinishida kirish huquqiga ega. Ma'lumotlar Yevropa o'rta masofali ob-havo prognozlar markazi (ECMWF) veb-saytidan olindi [16]. Hozirgacha qiziq bo'lgan iqlim ma'lumotlariga quyidagilar kiradi: harorat, atmosfera bosimi va suv va ozonning ustun zichligi. Simulyatsiya ustida olib borilayotgan ishlar natijalarga tarqalgan yorug'lik hissasini yaxshilash uchun bulutli modelni amalga oshiradi va bulut qoplami iqlim ma'lumotlarining qayta tiklanadigan qiymati, shuning uchun bu erda e'tiborga olish kerak. SMARTS kodi to'g'ridan-to'g'ri normal, diffuz va global bo'lgan uchta talab qilinadigan nurlanish spektrini etkazib bergandan so'ng, Quyosh foton generatori sifatida o'rnatiladi va fotonlarni tashish simulyatsiyasi boshlanishi mumkin. SMARTS spektrlari butun quyosh to'lqin uzunligi diapazonini 280 nm dan 4000 nm gacha qamrab oladi. Ularning tegishli integrallari hodisa generatorining fotonni osmon gumbazidan diffuz sifatida yoki to'g'ridan-to'g'ri normal sifatida boshlash ehtimolini aniqlaydi. Simulyatsiya dispersiyasini kamaytirish usuli har bir simulyatsiya qilingan fotonga tayinlangan og'irlik faktorini aniqlaydi, yuqoridagi muhokamaga qarang, lekin foton energiyasi tegishli to'lqin uzunligi spektridan tasodifiy tanlanadi. Bu ikkita sababga ko'ra muhimdir: (a) hozirgi vaqtda barcha moddiy xususiyatlarning dispersiyasini saqlab turish, foton to'lqin uzunligi optik jarayonlar uchun e'tiborga olinmasligini anglatadi, ammo real, dispersiv materiallar keyinchalik kodni o'zgartirmasdan osonlik bilan amalga oshirilishi mumkin va (b) to'liq foydalanishga imkon beradi. Quyoshning spektral diapazoni real PV texnologiyalari uchun standart samaradorlik hisoblarini soddalashtiradi. Odatda o'lchanadigan samaradorlik qiymatlari quyoshga o'xshash to'lqin uzunliklari spektrlarini, shu jumladan fotovoltaik effektini keltirib chiqarish uchun etarli energiyaga ega bo'lmagan fotonlarni chiqaradigan to'liq Quyosh simulyatori qurilmalaridan kelib chiqadi. Shuning uchun bu to'lqin uzunliklarini taqlid qilish uchun hisoblash resurslarini behuda sarflash deb hisoblanmaydi, bu ko'pchilik uchun, agar barcha texnologiyalar hech





qanday ta'sir ko'rsatmasa. Bu yerda qatlamli barg tuzilishida amalga oshirilgan 100% samarali yorug'lik qabul qiluvchi material, keyin olingan quyosh energiyasi natijalarini ma'lum texnologiyaga xos global samaradorlik qiymati bo'yicha real qiymatlarga ko'paytirish imkonini beradi. Voqealar generatori o'rnatilganda, har bir individual simulyatsiya ishlaydi. belgilangan fotonlar soni bilan boshlanishi mumkin, ishlab chiqarish uchun odatda 105 foton ishlaydi. Simulyatsiya qilingan fotonlar soni kam tizimli noaniqliklarni ta'minlaydi, 2-rasmga qarang va o'z vaqtida arzon. Simulyatsiya uchun asosiy muammo - barg soni mingdan ortiq bo'lgan yuqori iteratsiyali daraxt tuzilmalarini qurish. Bir kunlik simulyatsiya uchun to'liq simulyatsiya ishlashi, shuning uchun foydalanuvchi tomonidan tanlangan, yilning tanlangan kuni uchun hisoblangan quyosh chiqishi va botishi o'rtasidagi kun vaqtini bo'linadigan o'zgaruvchan sonli diskret vaqt qadamlarini o'z ichiga oladi. Har bir bunday qadam SMARTS spektrlarini hisoblab chiqadi va fotonlarning to'liq to'plamini hosil qiladi, ularni hammasi dunyo muhitidan qochib ketguncha yoki so'rilib ketgunga qadar uzatadi. Ro'yxatga olingan fotonlar, xitlar, keyinchalik kun davomida to'plangan umumiy energiyani jamlash uchun yig'iladi. To'liq yillik simulyatsiya bo'lsa, oldingi barcha qadamlar yil davomida tanlangan diskret marta takrorlanadi. Bu ma'lum bir daraxt geometriyasi uchun to'liq yugurishni yakunlaydi. Keyin simulyatsiya boshqa daraxt ishlab chiqarish va takrorlash orqali davom etadi. L-tizimlaridan foydalanish tufayli hisob-kitob daraxti ishlab chiqarish avtomatlashtirildi. Har bir alohida daraxt L-tizimini ishlab chiqarish qoidalariga kirish sifatida oddiy parametr qiymatlari to'plamiga joylashtirilishi mumkin. 1-jadvalda ko'rib chiqilgan har bir daraxt turi uchun parametr qiymatlari soni ko'rsatilgan. Har bir parametr qiymatining standart sozlamalari va yuqori va pastki chegaralari mavjud. Ular yuqori o'lchamli parametr maydonini qamrab oladi. Har bir avtomatlashtirilgan daraxt konstruktsiyasi tasodifiy ravishda ushbu parametr maydonini tanlaydi. Namuna olish uchun zarrachalar to'dasi algoritmini [5] qo'llash bo'yicha davom etayotgan ishlar tasodifiy to'plamni yaxshilashi kerak. 1-jadval: Ushbu tadqiqotda ko'rib chiqilgan har bir daraxt tuzilmasini belgilash uchun zarur bo'lgan o'zgaruvchan parametrlar soni ko'rsatilgan.

1-jadval: Ushbu tadqiqotda ko'rib chiqilgan har bir daraxt tuzilmasini belgilash uchun zarur bo'lgan o'zgaruvchan parametrlar soni ko'rsatilgan.





---

PV daraxt turi	Yassi	Monopodial	Simpodial	Spiral	Uchlik
Parametrlar soni	4	10	9	15	10

---

Har bir simulyatsiya ishida doimiy saqlash uchun barcha parametr qiymatlari, daraxt xususiyatlari va simulyatsiya natijalari qayd etiladi. Foydali daraxt xususiyatlari barglar soni, umumiy sezgir maydon, daraxtning "toj" maydoni yoki oyoq izi, ya'ni har bir daraxt soyabonining poldagi prognoz qilingan o'lchami, bu erda x-y-tekisligi va daraxt balandligi sifatida aniqlangan.

### **Natijalar:**

#### **Faoliyat ko'rsatkichi ta'rifi.**

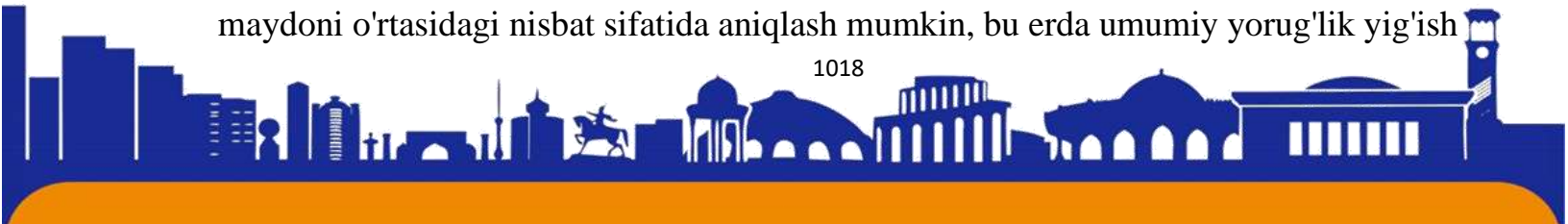
Ushbu tadqiqot natijalari yaxshi PVTree-ni yomon PVTree-dan ajratib turadigan ta'rifga bog'liq. Ushbu ta'rif raqamli optimallashtirishni ta'minlashi kerak va shuning uchun ideal raqam sifatida umumlashtirilishi kerak. Ushbu kontekstda ikkita optimallashtirish maqsadli sinfini aniqlash mumkin:

Eng oddiy urinish, olingan energiyaning energiya zichligi ekvivalent nisbatini fotovoltai elementning umumiy maydoniga bo'lingan holda ko'rib chiqishdir. Maqsad bu nisbatni maksimal darajada oshirishdir. Ruxsat etilgan energiya miqdorini ishlab chiqarish uchun yig'im-terim maydoni qanchalik ko'p bo'lsa, nisbat shunchalik yomon bo'ladi va shuning uchun qurilma. Yassi panel strukturasi bu holda ideal geometriyadir va tasdiqlash tekis panel geometriyasidan foydalangan holda simulyatsiyalar bu xulosani tasdiqlaydi. Bu

Optimallashtirish maqsadi, ammo yorug'lik yig'ish elementlarining resurs narxiga nisbatan ustunligini nazarda tutadi. Xarajat sifatida kamroq elementlar

Ruxsat etilgan daromad uchun qayta kerak bo'lsa, energiya chiqishi qanchalik yaxshi bo'lsa. Agar

hotovoltai elementlar tannarx sifatida ahamiyatsiz deb hisoblansa, bu nisbat ma'nosiz bo'lib qoladi. Agar fotovoltai elementlar arziyas deb hisoblansa, lekin erdan foydalanish va, ehtimol, jamoatchilik tomonidan qabul qilinadigan resurslar ustunlik qiymatiga aylansa, turli xil optimallashtirish maqsadlari ahamiyat kasb etadi. Bu tadqiqotda aniq taxmin. Ekofiziologiyada daraxtlarning yaqin atrof-muhitga ta'sirining qulay o'lchovi barg maydoni indeksidir (LAI) [17]. Bu raqamni oddiygina barg maydoni o'rtasidagi nisbat sifatida aniqlash mumkin, bu erda umumiy yorug'lik yig'ish





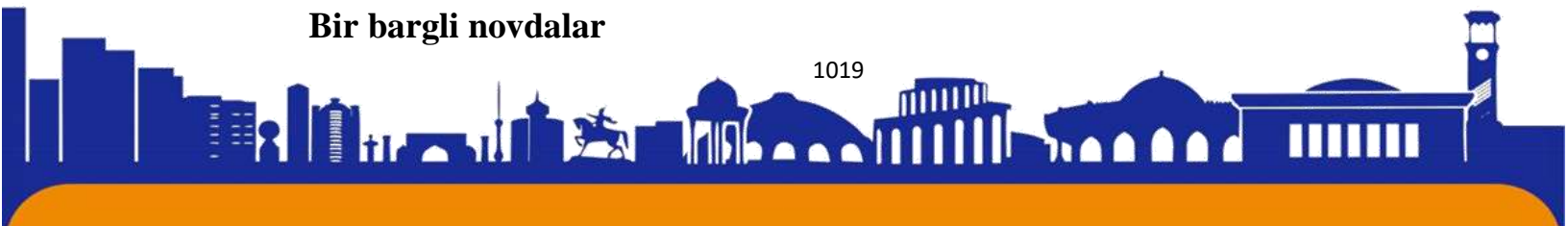
maydoni, butun daraxtning prognoz qilingan er maydoniga, uning "toji" o'lchamiga bo'linadi. Shunday qilib, bu chora PV daraxti tomonidan erdan foydalanishni aniq joriy qiladi. Tojlardagi barglarning bir-biriga yopishib qolmasligi, ya'ni keraksiz soyaning oldini olish uchun ikkinchi PVTree ni birinchisiga har birining prognoz qilingan tuproq kengligidan yaqinroq qurmaslik kerak. Yig'ilgan jami energiyani, investitsiya dividendlarini qayta kiritish uchun quyidagi natijalar uchun optimallashtirish parametri LAI va umumiy energiya mahsuloti sifatida aniqlanadi. Maqsad yana bu raqamni maksimal darajada oshirish bo'ladi. PVTrees uchun ko'p sonli ko'p fotovoltaik elementlar erning minimal xarajati bilan imkon qadar ko'proq yorug'lik yig'ishini anglatadi. Ikkala omildan biri ikkinchisini muvozanatlashi mumkin. Yoki LAI ajoyib emas, lekin struktura, masalan, optimal yo'nalish tufayli maksimal energiya beradi yoki energiya qiymati ajoyib emas, lekin yig'ilgan energiya miqdori uchun erdan foydalanish minimaldir. Har bir daraxt uchun optimal natija ikkala omildan ham eng yaxshisini olish bo'ladi.

Quyidagi natijalar uchun sifat omili yoki qadr-qimmat ko'rsatkichi yuqoridagi ikkinchi bandeda keltirilgan ta'rifni qabul qiladi, ya'ni LAI marta energiyani maksimal darajada oshirish kerak. Ajablanarlisi shundaki, eng tabiiy ko'rinadigan PVTree tuzilishi, uchlik strukturasi barcha parametrlarni skanerlashda birinchi o'rinda turadi, tekis panel esa oxirgi o'rinda turadi. Boshqa barcha daraxt tuzilmalari bu ikki chegara orasiga joylashtirilgan.

### **Yassi panelni tekshirish**

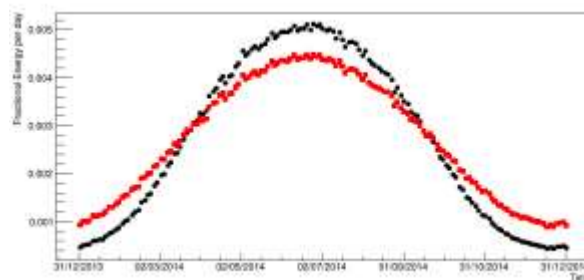
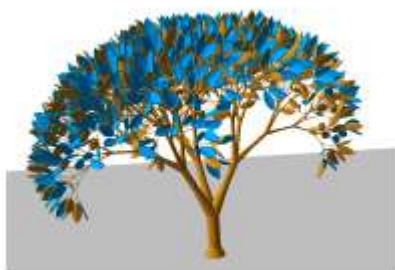
Tekshirish strukturasi, yassi panel uchun natijalar jadval jadvalida keltirilgan. 2. Ushbu tuzilmani tavsiflovchi to'rtta parametr uni ikki o'qda aylantirish va o'zgaruvchan balandlikka erishish imkonini beradi. Biroq, barcha daraxt tuzilmalarida bo'lgani kabi, u o'rnatilgach, simulyatsiya davomida ham o'zgarmas qoladi. Natijada, SMARTS tomonidan hisoblangan yillik integral energiya birlik maydoniga (quyosh nurlanishi)  $3256,5 \text{ kVt/m}^2$  (tanlangan joyda, yuqoriga qarang) to'liq tiklana olmaydi va taxminan 30% [18] yo'qotishlar kutilmoqda. Sof geometrik sabablarga ko'ra, Quyosh orbitasining yil davomida o'zgaruvchanligi shuni anglatadiki, har qanday qo'zg'almas tekis panel kun davomida har doim quyoshni kuzata oladigan panel kabi har doim ham optimal yo'naltirilmaydi. Bu taxmin bizning standart joylashuvimizda mavjud energiyaning 72 foizini oladigan simulyatsiyadagi tekis panel uchun tasdiqlangan.

### **Bir bargli novdalar**





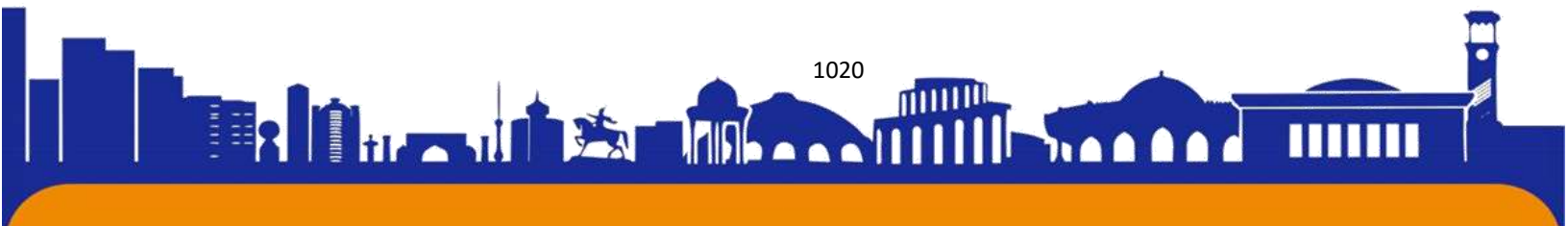
PVTree natijalarining birinchi to'plami L-tizimining har bir yakuniy novdasi oxirida o'rnatilgan bitta bargdan iborat oddiyroq daraxt tuzilmalari bilan bog'liq, 1, 5-rasmlarga qarang. Tarixiy jihatdan bu kodda PVTrees qurishning eng oson yo'li edi. Ushbu qurilish kontseptsiyasi PVTreesning muhim umumiy xususiyatlarini takomillashtirishdan oldin ko'rsatishi kutilgan edi, quyida ko'rib chiqing. Bir necha ming tasodifiy tanlangan daraxtlarning to'liq yillik simulyatsiyalaridan so'ng eng yaxshi PVTree 4-rasmda ko'rsatilgan.

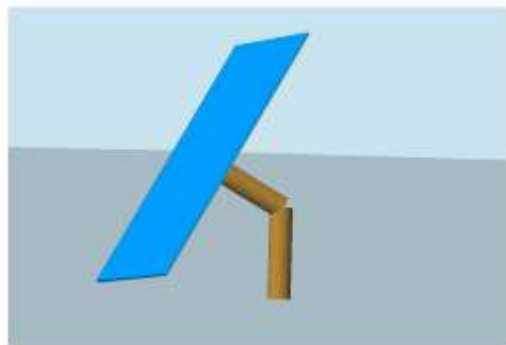


(a) Eng yaxshi uchlik daraxt. (b) tekis panelni uchlik bilan solishtirish.

4-rasm: (a) Yillik simulyatsiyalardan hozirda eng yaxshi uchlik PVTree strukturasi rasi. E'tibor bering, bu erda ranglar faqat ko'rsatish sabablari uchun kiritilgan. Kulrang fon tanlangan nuqtai nazar uchun simulyatsiya zamini va ufqi ko'rsatadi.

(b) Yassi panel (qora) va eng yaxshi uchlik PVTree (qizil) ning yillik simulyatsiya ko'rsatkichlarini taqqoslash. Qish va yoz o'rtasidagi uchlik daraxtining kichikroq kontrastini ko'rsatadigan bir yil davomida kuniga kasr energiya to'planishi ko'rsatilgan. 2014 yil uchun iqlim ma'lumotlaridan foydalaniladi. Nisbatan tartiblangan tuzilmalar uchun hatto yuqori o'lchamli parametrlar bo'shliqlarini tasodifiy tanlab olish, hatto zarrachalar to'dasi kabi to'liq optimallashtirish algoritmi bilan qidirishda ham juda ko'p kutilmagan hodisalar keltirmasligini kutish mumkin. Yuqoridagilardan yaxshiroq bo'lgan optimal uchlik daraxti tasodifiy tanlab olingan boshqa daraxtlarga o'xshash va 4-rasmda ko'rsatilganiga o'xshash "yaxshi" bo'lishi mumkin. Barcha eng yaxshi daraxtlar va ularning xarakteristikalarini to'plami Yorliqda keltirilgan. 2-rasmda 4(a) da eng yaxshi uchlik daraxti va 5-rasmda eng yaxshi alternativ daraxt tuzilmalari ko'rsatilgan.

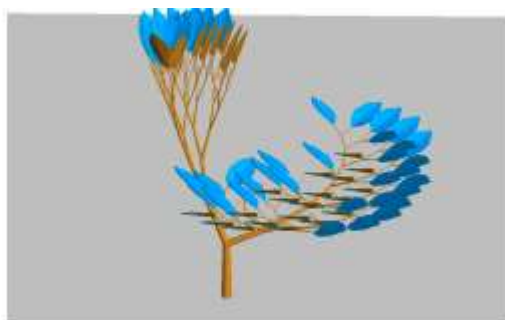




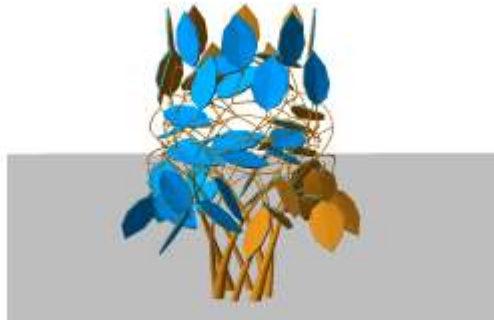
(a) Eng yaxshi tekis panel.



(b) Eng yaxshi monopodial daraxt.



(c) Eng yaxshi simpodial daraxt.

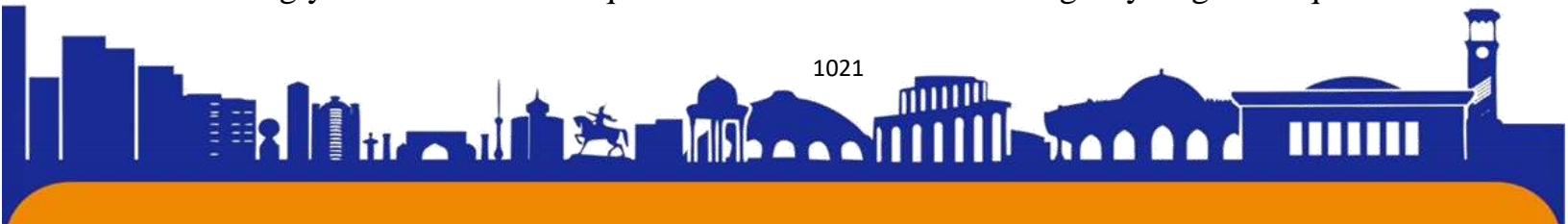


(d) Eng yaxshi spiral daraxt.

5-rasm: Har bir panelda uchlik PVTree tuzilishiga qo'shimcha ravishda tadqiqotda ishlatiladigan yillik simulyatsiyalardan to'rtta PVTree tuzilmasining tasodifiy tanlab olish skanerlaridagi eng yaxshi daraxt ko'rsatilgan. Muhokama uchun matnga qarang.

Biroq, Tabiiy tekshirish. 2 va 5-rasmda hozirgacha e'tibordan chetda qolgan muhim bir fikrni ko'rib chiqamiz. Jamoatchilikni qabul qilish kuchli ta'sir ko'rsatadigan har qanday yangi texnologiyaning kalitidir. Sof kompyuterda ishlab chiqilgan har qanday struktura jamoat joylarida keng jamoatchilik e'tiborini jalb qilishi va qo'llanilishi dargumon [2]. Agar PVTrees hech qachon amalga oshirilishi mumkin bo'lsa, dizaynni jamoatchilik tomonidan qabul qilinishiga yo'naltirish uchun fikr-mulohazalar muhim bo'ladi.

2-jadval: PVTrees har bir shoxiga bitta barg uchun eng yaxshi daraxt strukturalarining har birining xarakteristikalarini ko'rsatilgan. E'tibor berib, ushbu tadqiqot ma'lum bir fotovoltaiq texnologiyaning samaradorligini hisobga olmaydi, energiya ko'rsatkichida faqat 100% samaradorlikda so'rilgan yorug'lik haqida xabar





berilgan. Jadval daraxt turiga ko'ra, xizmat ko'rsatkichi bilan tartiblangan, matnga qarang, chapdan o'ngga, o'ngdagi eng yaxshi daraxt bilan.

Yangi fotovoltaik daraxt tuzilmalarini o'rganish uchun ko'p qirrali hisoblash vositasi, PVTrees yaratilgan va ushbu hujjatda keltirilgan birinchi natijalar bilan tasdiqlangan. Kelajakda arzon narxlardagi fotovoltaik elementlarning taxmini yorug'lik yig'ish texnologiyasini eng yaxshi qo'llash bo'yicha dizayn paradigmlarini olib tashlaydi, bu PVTrees va ularning dizayni kabi tekis panelli PVga alternatalarni izlashga imkon beradi. Arzon narxlardagi taxminlarga asoslanib, boshqa omillar muvaffaqiyatli fotovoltaik o'rnatishni tashkil etuvchi narsaga ko'proq ta'sir ko'rsatishi mumkin. Bu erda o'rnatish uchun yerning narxi va jamoatchilik fikri yanada ta'sirchan bo'lishi taklif etiladi. Ushbu taklif PVTree natijalarini barg maydoni indeksiga olingan jami energiyaga ko'ra baholashda qo'llaniladi, ikkinchisi ma'lum PVTree uchun to'liq simulyatsiya ishining natijasidir.

PVTrees, birinchi navbatda, uch o'lchovli PV o'rnatishni ifodalash, ya'ni tabiiy daraxtlar kabi erdan foydalanishni minimallashtirish va ikkinchidan, jamoatchilik tomonidan qabul qilish imkoniyati bilan ko'p qirrali tuzilmani ta'minlash orqali kelajakdagi muammolarga, er narxiga va idrokga javob berishi mumkin. Ular tabiiy ko'rinish, biomimikriya yoki ko'proq haykaltarosh, badiiy va sun'iy ko'rinishni taklif qiladi, ularning ikkalasi ham tomoshabinlar va atrof-muhit sharoitlariga qarab turli tasdiqlash reytinglariga ega [2]. Hozircha hech qanday ishlaydigan PVTree ishlab chiqarilmagan. Biroq, bir nechta qiyinchiliklar va xususiyatlar allaqachon sanab o'tilgan bo'lishi mumkin. Quyosh energiyasini saqlash har qanday o'rnatish uchun kamida engil yig'ish kabi muhim rol o'ynashi mumkin. PVTree strukturaning magistralida tabiiy saqlash hajmini taklif qiladi. Xuddi shunday, modulli ishlab chiqarish jarayoni tabiiy ravishda L-tizimlari fraktal bo'lganligi sababli ma'qullanadi, ya'ni asosiy tuzilmalarni turli uzunlikdagi shkalalarda takrorlaydi. Barglar shikastlangan, tiklangan yoki yangilanganda oddiy almashtirish uchun engil va modulli bo'lishi kerak. Engil og'irlikdagi yupqa plyonkali PV uchun engil plastik qadoqlash texnologiyasi yaqin kelajakda tijoriy jihatdan foydali bo'lishi kutilmoqda. PVTrees fotovoltaik dizayn va o'rnatishning jozibador yangi shaklini taqdim etishi uchun arziyas xarajat omili bo'lishi taxmin qilinmoqda.

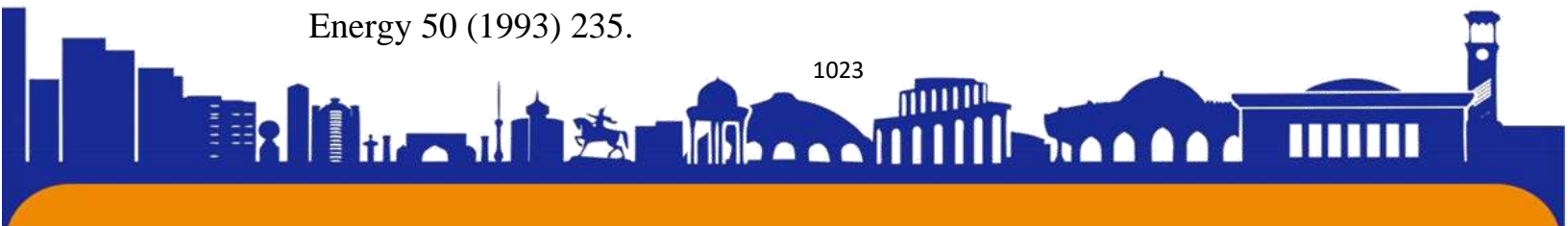
### Adabiyotlar







- [1] Myers, B., Bernardi, M. and Grossman, J.C., Three-dimensional photovoltaics, *Appl. Phys. Lett.* 96 (2010) 071902.
- [2] Dimitrokali, E. et al., Moving away from flat solar panels to PVTrees: exploring ideas and people's perceptions, *Procedia Engineering* 118 (2015) 1208–1216
- [3] Bernardi, M. et al., Solar energy generation in three dimensions, *Energy and Environmental Science* 5 (2012) 6880-6884.
- [4] Verma, N.N. and Mazumder, S., Monte-Carlo simulation of sunlight transport in solar trees for effective sunlight capture, *Transact. ASME, J. of Solar Energy Eng.* 137(4) (2015) 021015-1.
- [5] Kiranyaz, S., Ince, T. and Gabbouj, M., Particle Swarm Optimization, in *Multidimensional particle swarm optimization for machine learning and pattern recognition* (Springer, Berlin, 2014) 45–82.
- [6] Lindenmayer, A., Mathematical models for cellular interaction in development, *J. Theor. Bio.* 18 (1968) 280.
- [7] Prusinkiewicz, P. and Lindenmayer, A. *The algorithmic beauty of plants*, Springer (1993).
- [8] Agostinelli, S. et al., *Nucl. Instr. Meth.* A506 (2003) 250.
- [9] Ochoa, G., On genetic algorithms and Lindenmayer systems, in *Parallel Problem Solving from Nature - PPSN V*, vol. 1498, *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin, Springer, 1998.
- [10] Boudon, F. et al., L-Py: an L-system simulation framework for modeling plant architecture development based on a dynamic language, *Frontiers in Plant Science* 3 (2012) 76.
- [11] Hornby, G.S. and Pollack, J.B., Evolving L-systems to generate virtual creatures, *Comp. and Graphics* 25 (2001) 1041.
- [12] Gueymard, C.A., Parameterized Transmittance Model for Direct Beam and Circumsolar Spectral Irradiance, *Solar Energy* 71 (2001) 325-346.
- [13] Hosek, L. and Wilkie, A., An analytical model for full spectral sky-dome radiance, *ACM Trans. on Graphics (TOG)* 31(4) (2012) 1–9.
- [14] Perez, R., Seals, R. and Michalsky, J. All-weather model for sky luminance distribution - preliminary configuration and validation, *Solar Energy* 50 (1993) 235.





ISSN (E): 2181-4570

- [15] Rymes, M., Solpos 2.0 Documentation (2000)  
<http://rredc.nrel.gov/solar/codesandalgorithms/solpos/aboutsolpos.html>  
and references therein.
- [16] Dee, D.P. et al., The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137 (2011) 553–597
- [17] Breda, N.J.J., Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies, *J. Experim. Botany* 54 (2003) 2403–2417.
- [18] Lubitz, W.D., Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels, *Applied Energy* 88 (2011) 1710–1719.
- [19] Office of Gas and Electricity Markets UK (OFGEM), Typical domestic consumption values, report 2015, <http://www.ofgem.gov.uk>

