

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ**

**AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ**

---

**YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU**

**Sultanov Bəhlul Müşfiq oğlu,  
İsaqov Tural Aliq oğlu,  
Fərzəliyev Əliheydər Yusif oğlu  
Pənahlı Məmməd Elşən oğlu,  
Rəhimli Saday Mübariz oğlu**

**ENERJİ EFFEKTİVLİYİNƏ MALİK FASAD KONSTRUKSİYALI  
BİNALARIN GÜNƏŞ-GEOTERMAL ENERJİ TƏCHİZATININ  
İŞLƏNİLMƏSİ**

**İxtisas: 060609 – “İstilik energetikası mühəndisliyi”**

**İxtisaslaşma: “Bərpa olunan enerji mənbələri”**

**İxtisas: 060610 – “Enerji maşınqayırması mühəndisliyi”**

**İxtisaslaşma: “Soyuducu maşın və qurğuları”**

**Elmi rəhbər:**

**t.e.d, prof. Talıbov Misirxan Atduxan oğlu**

**BAKİ – 2024**

## MÜNDƏRİCAT

Giriş.....	4
I FƏSİL. HAVA BOŞLUĞU OLAN ÇOXQATLI FASAD PANELİNƏ MALİK BİNALARIN GÜNƏŞ-GEOTERMAL ENERJİ TƏCHİZATI.....	9
1.1. Binalarda bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə konsepsiyasının təsviri (Sultanov Bəhlul Müşfiq oğlu).....	9
1.2. Günəş-geotermal enerjisi təchizatına malik binalar üçün çoxqatlı fasad panelinin konstruksiyası (İsaqov Tural Aliq oğlu).....	17
1-Cİ FƏSİLƏ AİD NƏTİCƏLƏR (İsaqov Tural Aliq oğlu).....	22
II FƏSİL. İNTEQRASIYA OLUNMUŞ FASAD ŞƏBƏKƏLİ GÜNƏŞ ELEKTRİK STANSİYASI.....	23
2.1. Şəbəkəli günəş elektrik stansiyasının xarakteristikası (İsaqov Tural Aliq oğlu)..	23
2.2. Fotoelektrik çeviricilərin eksperimental tədqiqatının metodikası və nəticələri (Fərzəliyev Əliheydər Yusif oğlu).....	28
2-Cİ FƏSİLƏ AİD NƏTİCƏLƏR (Fərzəliyev Əliheydər Yusif oğlu).....	37
III FƏSİL. BƏRPA OLAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNDƏN KOMPLEKS İSTİFADƏ OLUNAN BİNALAR ÜÇÜN ÇOXQATLI FASAD PANELİNİN MÖHKƏMLİK VƏ İSTİLİK TEXNİKİ XARAKTERİSTİKALARININ TƏDQIQI.....	38
3.1. Çoxqatlı fasad panelinin möhkəmlik hesabatının metodikası və nəticələri (Pənahlı Məmməd Elşən oğlu).....	38
3.2. Çoxqatlı fasad panelinin istilik texniki hesabatının metodikası və nəticələri (Rəhimli Saday Mübariz oğlu).....	59
3.2.1. Binanın verilmiş parametrləri (Rəhimli Saday Mübariz oğlu).....	59
3.2.2. Fasad konstruksiyasının hesabat modeli (Rəhimli Saday Mübariz oğlu).....	61
3.2.3. Çoxqatlı fasad panelinin hesabat modelinin materiallarının xassələri (Rəhimli Saday Mübariz oğlu).....	65
3.2.4. Hesabat modelinin sərhəd şərtləri (Rəhimli Saday Mübariz oğlu).....	66
3.2.5. Eksperimental planlaşdırma nəzəriyyəsi əsasında hesabatın birinci mərhləsində panelin parametrlərinin dəqiqləşdirilməsi (Rəhimli Saday	

Mübariz oğlu).....	70
3.2.6. İstilik texniki hesabatın ikinci mərhələsində çoxqatlı fasad panelinin optimal həndəsi parametrlərinin seçilməsi (Rəhimli Saday Mübariz oğlu).....	74
3-CÜ FƏSİLƏ AİD NƏTİCƏLƏR (Rəhimli Saday Mübariz oğlu).....	79
ƏDƏBİYYAT.....	80

## GİRİŞ

**Mövzunun aktuallığı:** Bərpa olunan enerji bir çox ölkələrdə dinamik inkişaf edən sahədir. Məsələn, Avropa İttifaqının strategiyasına uyğun olaraq, 2050-ci ilə qədər Avropa İttifaqı bərpa olunan enerjinin hesabına neft, qaz və kömürdən tamamilə imtina etməyi planlaşdırır. 2024-cü ildən Berlində tikinti təşkilatlarını paytaxtdakı bütün binaların damlarında və ya fasadlarında günəş panelləri quraşdırmağa məcbur edən qanun qüvvəyə minəcək.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin payı bu gün Azərbaycanın ümumi enerji balansında təxminən 1% təşkil edir, əlverişli proqnozla 2035-ci ilə qədər bərpa olunan enerji mənbələrinin payı əhəmiyyətli dərəcədə arta bilər.

Geosferdə enerjinin əsas payını günəş və geotermal enerji təşkil edir. Enerji Strategiya təşkilatının hesablamalarına görə, Azərbaycan Respublikasında günəş enerjisinin potensialı kifayət qədərdir. Geotermal enerjinin də resurs potensialı günəş enerjisi qədər tükənməzdir. Hesablamalara əsasən Azərbaycanda geotermal enerji potensialı üzvi yanacaq ehtiyatlarından 10 dəfə çoxdur. Günəş energetikası və tikinti sahəsində texnologiyaların inkişafı istilik qoruyucu və enerjigenerasiyası funksiyalarını eyni vaxtda yerinə yetirən örtük konstruksiyaları yaratmağa imkan verir. Bu baxımdan, kompleks bərpa olunan enerji mənbələrinə malik olan binalar əhəmiyyətli dərəcədə aktuallaşır. Binalarda bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin yüksək effektivliyi əlverişli istilik izolyasiya xarakteristikalarına malik örtük konstruksiyalardan istifadə etməklə əldə edilir. Bərpa olunan enerjinin töhfəsi çox vaxt müxtəlif səbəblərdən məhdud olduğundan, bina ən az enerji itkisinə malik olmalıdır.

Binaların tikintisi və istismarı dünyada istehsal olunan bütün enerjinin yarısını istehlak edir. Bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsindən ən böyük sinergetik effekt enerji istehlakçılarının və enerji mənbələrinin xarakteristikalarının kompleks optimallaşdırılması zamanı əldə edilir. Bina və tikililərin mühəndis sistemlərinin istismarı üçün səmərəli bina örtük konstruksiyalarının hazırlanması və bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi üzrə birgə işlər enerji istehlakını əhəmiyyətli dərəcədə

azaldacaq və bərpa olunan enerji mənbələrinə əsaslanan enerji sistemlərinin effektivliyini artıracaqdır.

Bu baxımdan, enerji effektivliyinə malik örtük konstruksiyalı binalarda bərpa olunan enerji növlərindən istifadə edərək enerji təchizatı texnologiyalarının yaradılması aktualdır.

**Tədqiqatın predmeti və obyekt** - yeni ventilyasiya olunan fasad sistemindən istifadə edərək binanın ətrafında istilik qurşağının yaradılması üçün bərpa olunan enerjiden istifadə sistemi.

**Dissertasiya işinin məqsədi** yaşıl tikinti praktikasında istifadə üçün yeni ventilyasiya olunan fasad sistemindən istifadə etməklə binanın ətrafında əlavə istilik qurşağının yaradılması üçün geotermal enerjiden istifadə sisteminin işlənilib hazırlanmasıdır.

**Qoyulmuş məqsəd tədqiqatın növbəti məsələlərini müəyyən edir:**

1. Cənub bölgəsinin şərtləri üçün torpağın və binaların səthində günəş radiasiyasının qəbulunun analizinin aparılması;
2. İstilik enerjisinin ekzogen daxilolmaları ilə əlaqədar torpaq temperaturunun illik dəyişməsinin analizinin aparılması;
3. Torpaq istilikdəyişdiricisinin işlənilib hazırlanması və hava axınının qızdırılması (soyudulması) üçün onun parametrlərinin optimallaşdırılması;
4. Binanın süni hava qurşağını yaratmaq üçün ventilyasiya olunan fasadın yeni konstruksiyasının işlənilib hazırlanması və optimallaşdırılması;
5. Binaların elektrik təchizatı üçün yeni nəsil nazik təbəqəli fotoelektrik çeviricilərin effektivliyinin eksperimental və nəzəri tədqiqatlarının aparılması;
6. Azmərtəbəli binanın günəş və geotermal enerji ilə kompleks enerji təchizatının energetik, iqtisadi və ekoloji effektivliyinin analizinin aparılması.

**Tədqiqatın predmeti** bərpa olunan enerji mənbələrinə əsaslanan sistemlərin işinin süni hava boşluğu olan binalarda istilik və ventilyasiya xərclərinin azaldılmasına təsiridir.

**Elmi yenilik aşağıdakı kimidir:**

1. İlk dəfə olaraq binaların qızdırılması xərclərini azaltmaq məqsədi ilə süni fasad istilik qurşağının yaradılması üçün torpaq istilikdəyişdiricisi ilə qızdırılan hava axınından istifadə sistemi təklif edilmiş və işlənib hazırlanmışdır;

2. Binalarda bərpa olunan enerji mənbələrindən kompleks istifadə üçün ventilyasiya olunan boşluğa malik çoxqatlı fasad panelinin konstruksiyası yaradılmışdır;

3. Günəş-geotermal enerji ilə təchiz olunmuş binalar üçün panelin optimal parametrlərinin seçilməsi metodikası yaradılmışdır;

4. Günəş fasad elektrik stansiyasının tətbiqinin effektivliyi ilə bağlı tədqiqatlar aparılmışdır;

**İşin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Hava boşluğu olan effektiv fasad panellərinə malik binalar üçün günəş və geotermal enerji əsasında enerji qurğusunun tətbiqinin prinsipial sxemi işlənib hazırlanmışdır.

Torpaq kollektorunun parametrlərinin təyin olunma metodoikası işlənib hazırlanmışdır.

Ən etibarlı və tükənməz resurslar kimi, günəş və geotermal enerjiyə əsaslanmaqla bərpa olunan enerji mənbələrindən kompleks istifadə olunan binalar üçün mühəndis sistemlərinin işinin prinsipial sxemi işlənib hazırlanmışdır.

Binanın fasad fraqmentinin parametrik hesablama modeli işlənib hazırlanmışdır, bunun köməyi ilə aşağıdakı məsələləri həll etmək olar:

- müxtəlif həndəsi parametrlərə malik panellərdə yerdəyişmələri və gərginlikləri təyin etmək;
- müxtəlif iqlim şəraitləri üçün işlənib hazırlanmış metodika əsasında optimal parametrlərin seçilməsini həyata keçirmək;
- panelin gətirilmiş istilikötürmə müqavimətini təyin etmək.

### **Metodologiya və tədqiqat metodları**

İşin yerinə yetirilməsi zamanı riyazi modelləşdirmə üsullarından istifadə edilmişdir. Torpaq kollektorunun və ventilyasiya olunan hava boşluğu olan fasad fraqmentinin kompüter modelinin həyata keçirilməsi üçün ANSYS proqram paketindən istifadə edilmişdir.

## **Müdafiyyə aşağıdakı müddəalar təqdim olunur:**

1. Effektiv fasad konstruksiyaları olan binalar üçün günəş-geotermal enerji təchizatı sistemi.
2. Günəş-geotermal enerji təchizatı olan binalar üçün çoxqatlı fasad panelinin parametrik modeli.
3. Müxtəlif iqlim şəraitləri üçün panelin optimal parametrlərinin təyin olunma metodikası.
4. Torpaq hava kollektorunun fraqmentinin kompüter modelləşdirilməsinin nəticələri.
5. Amorf və monokristal silisium əsasında fotoelektrik çeviricilərin xassələrinin eksperimental tədqiqinin nəticələri.

**İşin aprobeiasyası.** Dissertasiya tədqiqatının əsas müddəaları və nəticələri 1-2 may 2024-cü il tarixlərində Azərbaycan xalqının Ümummilli Lideri, müstəqil Azərbaycan dövlətinin qurucusu və görkəmli dövlət xadimi Heydər Əliyevin anadan olmasının 101-ci ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların "Mütərəqqi texnologiyalar və innovasiyalar" mövzusunda IX Respublika elmi-texniki konfransında 4 məruzə ilə təqdim olunaraq müzakirə edilmiş və bəyənilmişdir.

**İşin strukturu və həcmi.** Girişdə mövzunun aktuallığı, tədqiqat obyektini, işin məqsədi və elmi yeniliyi, tədqiqat metodları, işin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, metodologiya və tədqiqat metodları, müdafiyyə təqdim olunan müddəalar, işin aprobeiasyası verilmişdir.

**I fəsildə** hava boşluğu olan çoxqatlı fasad panelinə malik binaların günəş-geotermal enerji təchizatının konsepsiyası təsvir olunmuş, günəş-geotermal enerjisi təchizatına malik binalar üçün çoxqatlı fasad panelinin konstruksiyası verilmişdir.

**II fəsildə** inteqrasiya olunmuş fasad şəbəkəli günəş elektrik stansiyasının xarakteristikası, fotoelektrik çeviricilərin eksperimental tədqiqatının metodikası və nəticələri verilmişdir.

**III fəsildə** bərpa olan enerji mənbələrindən kompleks istifadə olunan binalar üçün çoxqatlı fasad panelinin möhkəmlik hesabatının metodikası və nəticələri verilmişdir. Bu fəsildə çoxqatlı fasad panelinin istilik texniki parametrlərini hesablamaq üçün hesabat metodikası seçilmiş, binanın parametrləri göstərilmiş, fasad

konstruksiyasının hesabat modeli, çoxqatlı fasad panelinin hesabat modelinin materiallarının xassələri, hesabat modelinin sərhəd şərtləri verilmiş, həmçinin eksperimental planlaşdırma nəzəriyyəsi əsasında hesabatın birinci mərhələsində panelin parametrləri dəqiqləşdirilmiş, istilik texniki hesabatın ikinci mərhələsində çoxqatlı fasad panelinin optimal həndəsi parametrləri seçilmişdir.

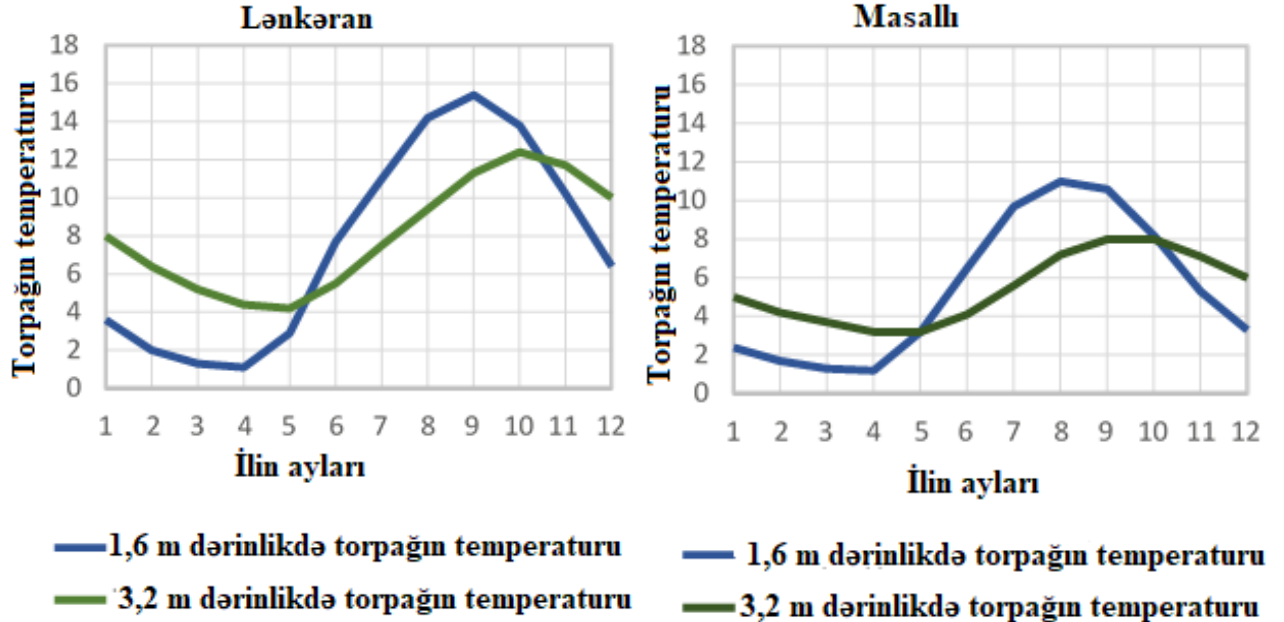


# FƏSİL 1. HAVA BOŞLUĞU OLAN ÇOXQATLI FASAD PANELİNƏ MALİK BİNALARIN GÜNƏŞ-GEOTERMAL ENERJİ TƏCHİZATI

## 1.1. Binalarda bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə konsepsiyasının təsviri

Binaların qızdırılması və soyudulması üçün aşağı dərəcəli istilik enerjisinin ən əlçatan mənbələrindən biri yerin yuxarı qatlarında olan torpağın istiliyidir. Əslində, torpaq günəş enerjisini toplayan qeyri-məhdud tutumlu istilik akkumulyatorudur. Yer səthinin udduğu günəş enerjisi yerli şəraitdən asılı olaraq torpaq qatının temperatur rejimini 20 metrə qədər formalaşdırır. Torpaq kütləsinin temperaturunun dəyişməsi zamana görə xarici havanın temperaturunun dəyişməsindən geri qalır, buna görə də müəyyən dərinlikdə ilin soyuq dövründə maksimum torpaq temperaturu müşahidə oluna bilər.

Şəkil 1.1-də Lənkəran və Masallı üçün 1,6 m və 3,2 m dərinliklərdə torpaq temperaturunun il boyu dəyişmə qrafikləri göstərilmişdir.



Şəkil 1.1. Lənkəran və Masallı üçün 1,6 m və 3,2 metr dərinliklərdə torpaq temperaturunun dəyişmə qrafikləri

Torpağın bir kubmetr həcmində yığılan istilik miqdarı aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$Q/V = \rho \cdot C \cdot (T^{or.il}_{1,6} - T^{5SH}), \quad (1.1)$$

burada:  $\rho$  - torpağın temperaturu;  $C$  - torpağın xüsusi istilik tutumu;  $T^{or.il}_{1,6}$  - 1,6 metr dərinlikdə torpağın orta illik temperaturu;  $T^{5SH}$  - ən soyuq beş günlük dövrdə havanın temperaturudur.

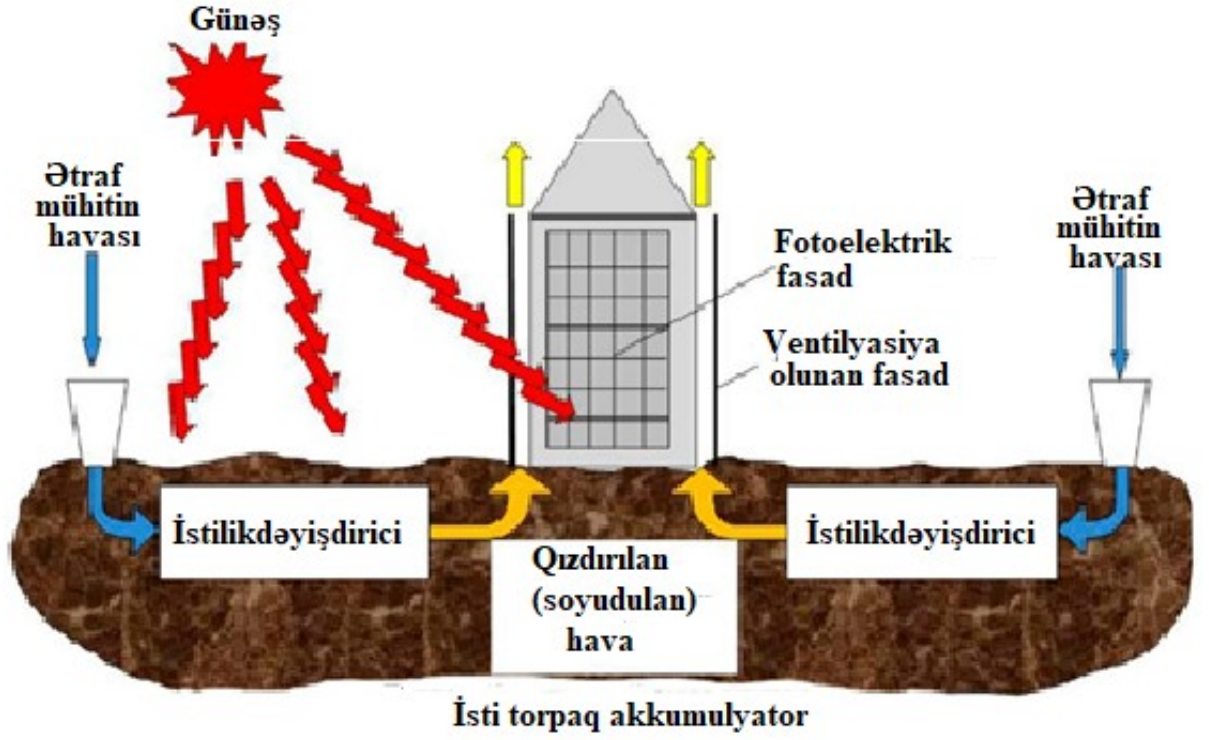
Torpaq kollektoru, torpaqdan istiliyin alınmasını və istehlakçıya çatdırılmasını həyata keçirən, daxilində istilikdaşıyıcı sirkulyasiyası olan borular sistemidir. İstehlak olunan enerji ətraf massivdən gələn istilik daxilolmaları ilə kompensasiya edilir ki, bu da torpağın aşağı potensiallı istilik mənbəyi kimi istifadə olunmasına imkan verir. Yayda binaların soyutmasını təmin etmək üçün torpaq massivindən istifadə edərkən, torpaq istilikdaşıyıcını soyudur və öz temperaturunu artırır. Yayda yığılan istilik istiləşdirmə mövsümünün başlanğıcına qədər torpağın temperatur potensialını artırır.

Konsepsiya fasadın xarici tərəfində quraşdırılmış günəş panelləri hesabına istilik qoruyucu və enerji generasiya funksiyalarını yerinə yetirən binaların divar örtük konstruksiyalarının yaradılmasından ibarətdir (Şəkil 1.2). Fasad sistemini qapalı ventilyasiya olunan hava boşluğuna malik olan panellərdən hazırlanması təklif olunur ki, bu panellərə torpaq istilikdəyişdiricisi ilə əvvəlcədən qızdırılan isti hava daxil olur.

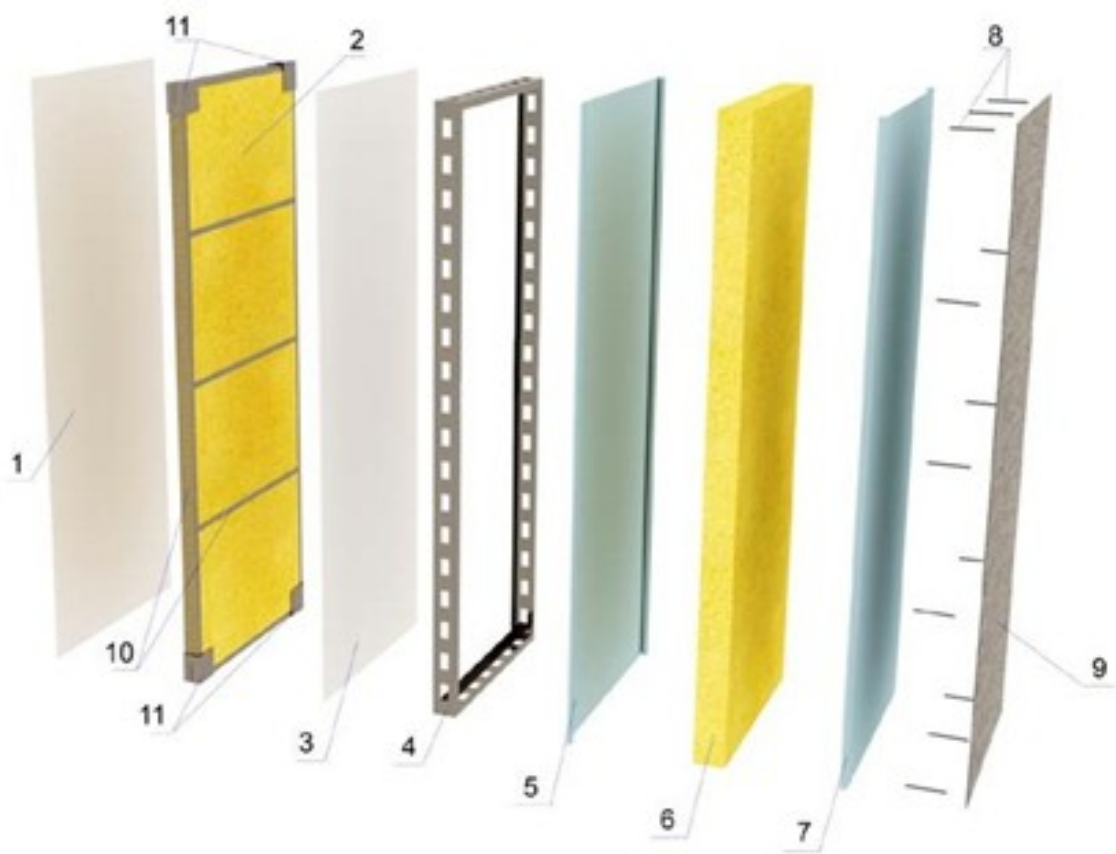
Müasir fasad həllərinin təhlilinin nəticəsi yeni tipli örtük konstruksiyasının - çoxqatlı fasad panelinin (ÇFP) yaradılması olmuşdur [1-2]. Çoxqatlı fasad panelinin prototipi Avropa memarlığının tendensiyalarından biri idi - iqlim fasadı və ya "ikiqat dəri" fasad (ingilis dilində "double-skin façade"). Ventilyasiya olunan hava boşluğu olan çoxqatlı fasad panelinin konstruksiyası (Şəkil 1.3) daxili (2) və xarici (6) istilik izolyasiya təbəqələrindən ibarətdir, onların arasında perforasiya edilmiş şvellerdən (4) hazırlanmış bir çərçivə var.

Panelin daxili təbəqəsi hər iki tərəfdən sement nəmə davamlı lövhələr (3) ilə örtülmüş istilik profillərindən (10) hazırlanmış bir çərçivədən ibarətdir. İstilik profillərinin (10) divarlarında sement plitələri (1,3) arasında istilik izolyasiyası (2) qoyulur.

Sement lövhələri özüəkəsi vintlərindən istifadə edərək çərçivəyə (10) bərkidilir. Sement plitələrinin (1, 3) daxili səthi və istilik izolyasiyası (2) yapışqan tərkiblə birləşdirilir.



Şəkil 1.2. Ventilyasiya olunan hava boşluğu olan fasad panellərinə malik binalarda bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə konsepsiyası



Şəkil 1.3. Çoxqatlı fasad panelinin layların göstərilməsi ilə konstruksiyası

Portland sement əsaslı özəyi və yüngül mineral aqreqatdan hazırlanmış, səthləri şüşə setka ilə möhkəmləndirilmiş sement lövhələri (1,3) istilik izolyasiyasını qoruyur. Nəmlik müqaviməti, göbələklərə və kiflərə qarşı müqavimət, davamlılıq və yanmazlıq mineral yunun bütün elan edilmiş xidmət müddəti ərzində saxlanmasına imkan verir. Panelin daxili təbəqəsinin dörd küncündə bərkidici elementlər (11) quraşdırılır. Bərkitmə elementi yivli qutu bucağı şəklində olur, bura da dayaq elementi meydana gətirən ikitavr rəf daxil edilir. Bərkitmə elementi panelin bütün daxili təbəqələrini bir-birinə bağlayır və özükəsici vintlərdən istifadə edərək termal profillərdən hazırlanmış çərçivəyə qoşulur. Daxili təbəqə qaynaq yolu ilə perforasiya edilmiş şvellerdən (4) hazırlanmış dəstəkləyici çərçivəyə bağlanır: daxili və xarici kənarlar boyunca bağlama elementi şvellerlə qaynaqlanır.

Çərçivə (4) havanın maneəsiz hərəkəti üçün üfüqi və şaquli istiqamətlərdə deşikləri olan şvellerlərdən hazırlanır. Panelin xarici təbəqəsi hər iki tərəfdən alüminium təbəqələr (5,7) ilə örtülmüş istilik izolyasiya təbəqəsi (6) ilə formalaşan zavod istehsalı olan üç qatlı sendviç paneldir. Panellərin xarici təbəqələri Z-lock

kilidindən istifadə edərək üfüqi şəkildə bağlanır, şaquli istiqamətdə izolyasiya aparılır və xüsusi bir zolaq quraşdırılır.

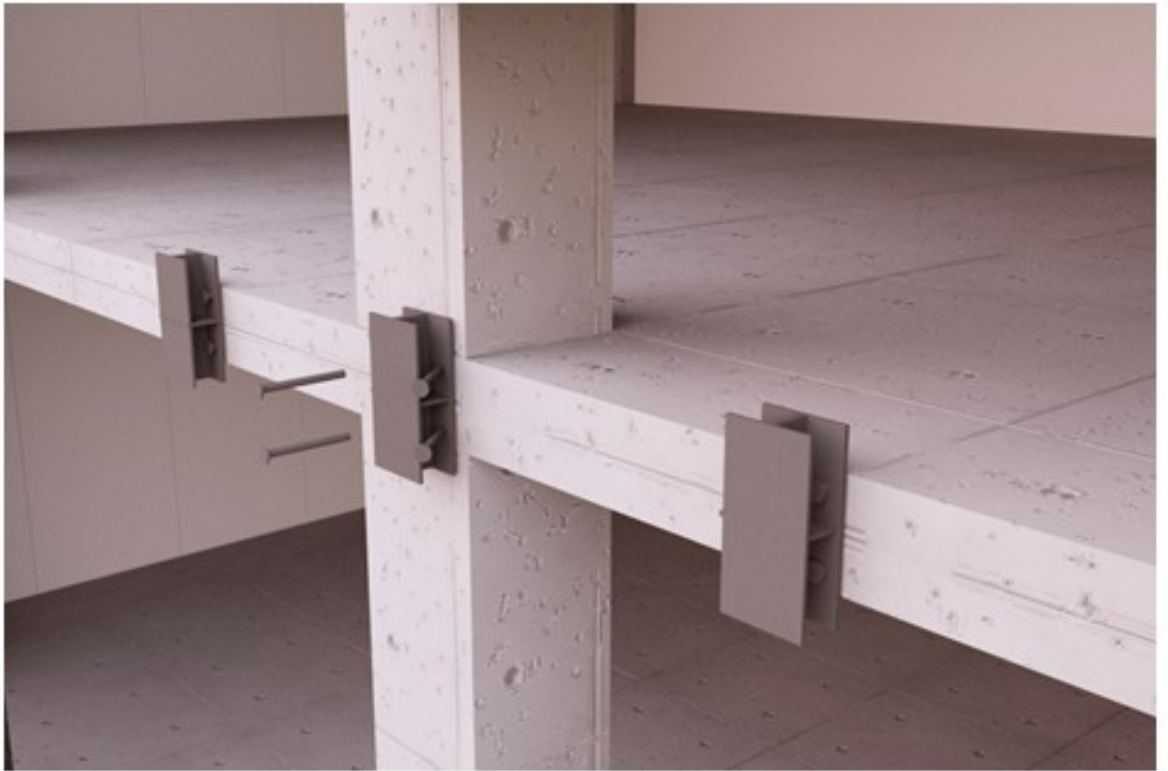
Panelin xarici təbəqəsi özü kəsici vintlərdən (8) istifadə edərək dəstəkləyici çərçivəyə bərkidilir. Çevik günəş paneli (9) panelin kənarına bərkidilə bilər.

Dayaq elementi qabırğalı ikitavrdır və lövbərlərdən (anker) istifadə edərək, dəmir-beton plitənin ucuna bərkidilir (Şəkil 1.4).

Xarici alüminium təbəqəsi istənilən rəngdə rəngləyə və ona istənilən faktura verilə bilər, bununla da binanın memarlıq görkəmi dəyişir. Foto çap üçün müasir texnologiyalar və avadanlıq panellərə istənilən naxış və faktura tətbiq etməyə imkan verir - ağac, metal imitasiyası və s.

Qoruyucu təbəqələr qoyulan istismar müddəti ərzində istilik izolyasiyasını qoruyur, onun boşalmasının, deformasiyasının və nəmin panelə daxil olmasının qarşısını alır, həmçinin daxili bəzək üçün hazır səth rolunu oynayır.

Maneəsiz hava hərəkəti üçün perforasiya edilmiş profillərdən hazırlanmış çərçivə binanın fasadının bütün səthi boyunca hava boşluğu yaradır.



Şəkil 1.4. Dayaq elementinin monolit döşəmə plitəsinin ucuna bərkidilməsi

Bu fasad panellərindən hazırlanmış divar konstruksiyasının möhkəmliyi istilik və ventilyasiya üçün istilik enerjisinin sərfini azaltmaq üçün boşluqda qızdırılan havadan istifadə etməyə imkan verir.

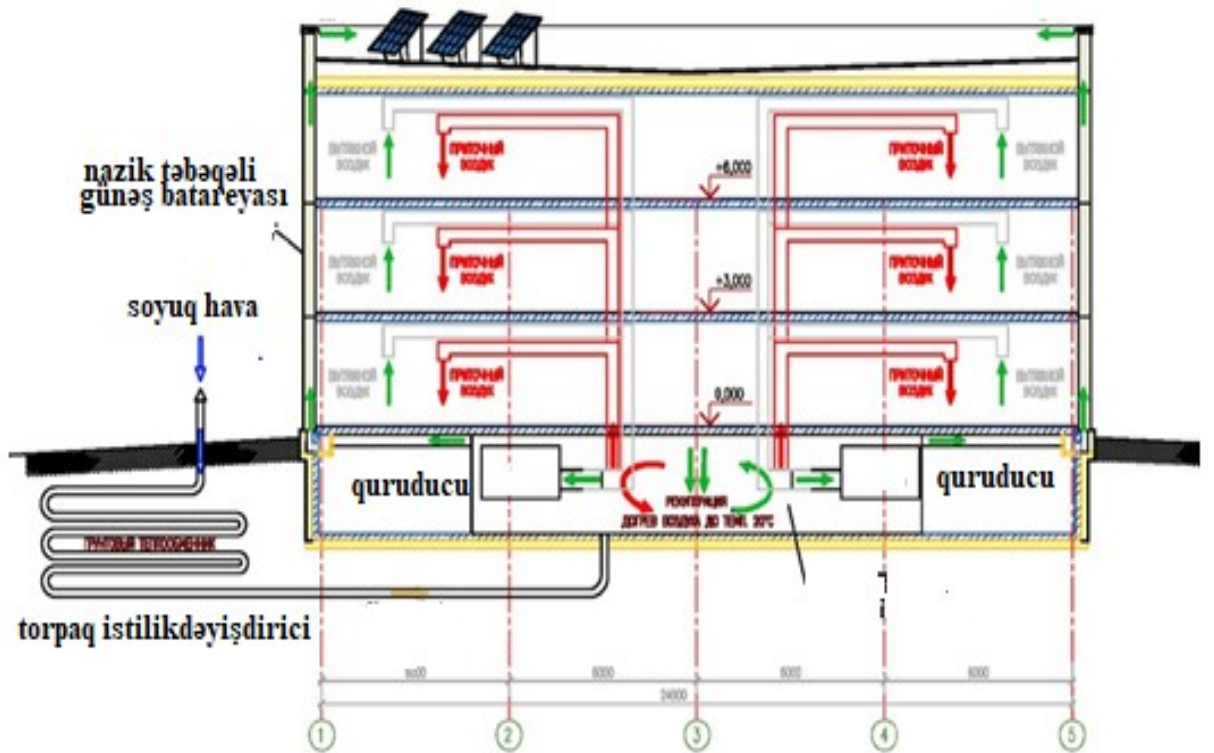
Fasadın cənub tərəfində çoxqatlı fasad panelinin xarici alüminium təbəqəsinə nazik təbəqəli fotoelementlər quraşdırmaq mümkündür (Şəkil 1.3-də 9-cu mövqə). Çox da yüksək olmayan qiymət, üçüncü nəsil modulların 12-20% f.i.ə. və kristal analoqlarla müqayisədə yayılmış işıqda yüksək səmərəliliyi onların, o cümlədən buludlu havanın üstünlük təşkil etdiyi bölgələrdə istifadəsini məqsədəuyğun edir. Bəzi növ modullar 20% -ə qədər şəffaflıqla istehsal olunur ki, bu da belə nazik təbəqəli batareyaların şəffaf konstruksiyalarda istifadəsinə imkan verir. 12% -dən çox olmayan f.i.ə. ilə amorf silikona əsaslanan nazik təbəqəli batareyalar daha geniş yayılmışlar. Hal-hazırda indium, selenium və mis əsasında təxminən 20% f.i.ə.-na malik olan nazik təbəqəli günəş fotoelementləri daha effektivdir. Binalardakı pəncərələr yalnız parapet panelini qoymaqla "döşəmədən tavana qədər" edilə bilər. Çoxqatlı fasad panelindən bir pəncərə sillası qurmaq da mümkündür və üfüqi müstəvidə dəstəkləyici çərçivədəki perforasiyalar havanın hərəkətinə mane olmayacaqdır. Şəkil 1.5-də binanın fasadının elementlər üzrə quraşdırılmasının sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1.5. Binanın örtük konstruksiyasının elementlər üzrə quraşdırılması sxemi

Panellərin (1) quraşdırılması aşağıdan yuxarıya doğru başlayır və bina parapet paneli (2) ilə tamamlanır. Vitraj pəncərəsi (3) qapanmış konstruksiya (4) ilə təchiz olunub, pəncərə yamaclarını və panellərlə interfeysi təşkil edir. Bundan əlavə, damda günəş panelləri (5) quraşdırıla bilər.

Çoxqatlı fasad panelinin səmərəli işləməsi üçün torpaq istilikdəyişdiricisi istifadə edilə bilər. Şəkil 1.6-da xarici soyuq hava yeraltı istilik dəyişdiricisinə daxil olur, sonra isitmə baş verən hava idarəetmə qurğusuna daxil olur və oradan binaya daxil olur. İşlənmiş hava əvvəlcə rekuperatordan, sonra kondensasiya quruducudan keçir, bundan sonra fasadın ventilyasiya olunan hava boşluğunun aşağı hissəsinə daxil olur. Panel boşluğundakı isti hava yuxarıya qalxır, burada işlənmiş hava binanın parapet səviyyəsindəki ventilyasiya qəfəsi vasitəsilə çıxarılır.



Şəkil 1.6. Cənub fasadında torpaq istilikdəyişdiricisi və fotoelektrik çeviricilərdən istifadə etməklə çoxqatlı fasad panelinin səmərəli işləmə sxemi

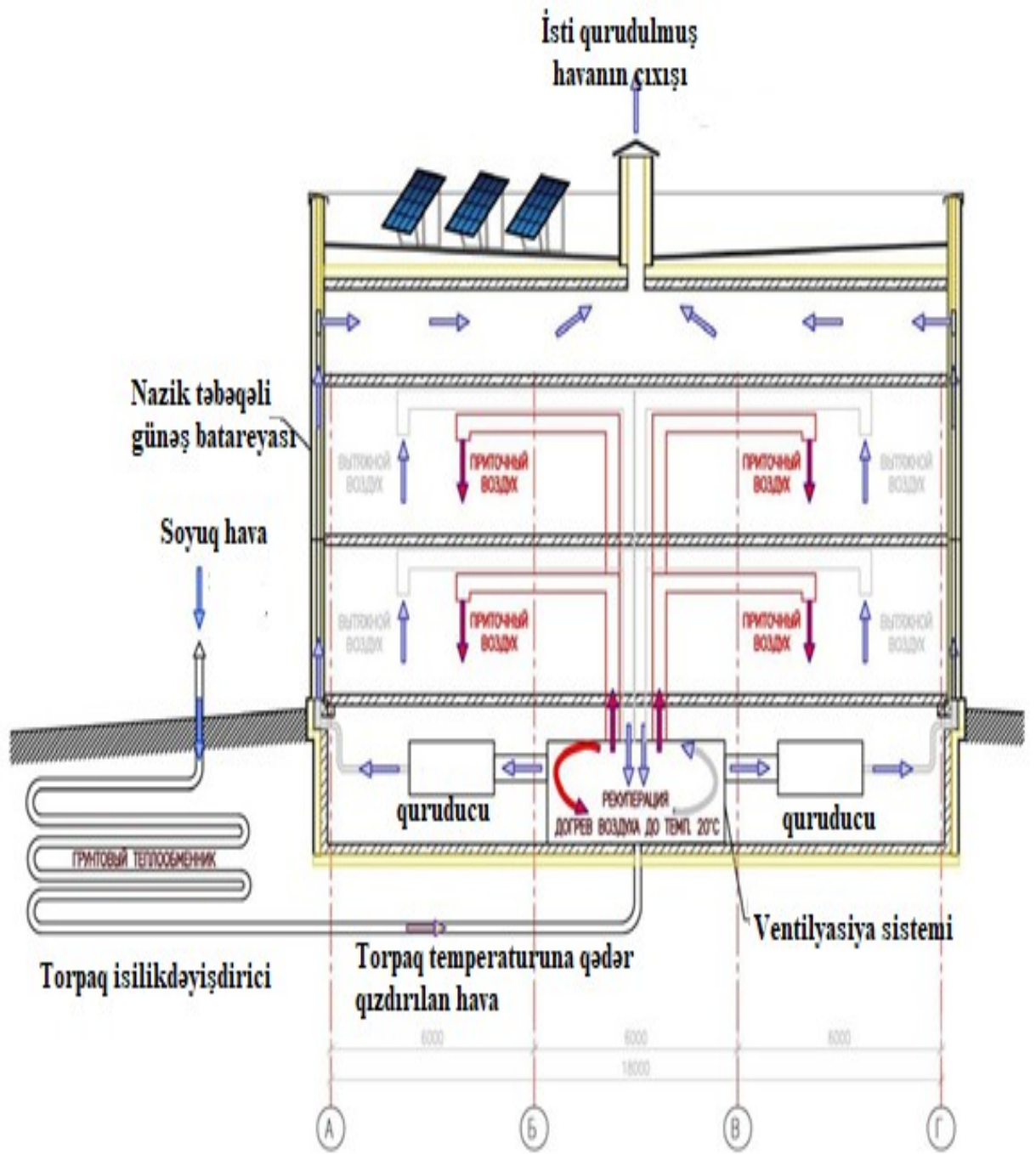
Şəkil 1.7-də ventilyasiya olunan hava boşluğundan isti qurudulmuş havanın çardaq sahəsinə necə daxil olduğu, bundan sonra işlənmiş havanın xaricə çıxarılması göstərilmişdir.

Yayda torpaq istilikdəyişdiricisi hesabına torpaq temperaturuna qədər soyudulmuş hava fasadın hava boşluğuna verilir, bunun nəticəsində kondisiyalaşdırma sisteminin tələb olunan gücü azalır.

Belə işləmə sxemləri hava kütlələrinin hərəkətinin qapalı tsiklini təşkil edir, bunun nəticəsində məcburi havalandırma sistemləri üçün qızdırılan havanın bütün həcmi ventilyasiya olunan boşluqda müsbət temperaturun saxlanmasına yönəldilmişdir. Qızdırılmış, qurudulmuş hava, zirzəmi ilə birinci mərtəbə arasında döşəmə plitəsinin səviyyəsində 1-ci mərtəbə panelinin altında yerləşən II -şəkilli paylayıcı qab vasitəsilə verilir. Hava parapet panelinin yuxarı hissəsindəki xüsusi bir çuxur vasitəsilə buraxılır.

Cənub fasadlarında yerləşən panellər əlavə bir təbəqə ilə hazırlana bilər - nazik təbəqəli fotoelektrik çevirici ilə.





Şəkil 1.7. Çoxqatlı fasad panelinin işləmə sxemi (çardaqdan isti havanın boşluqdan çıxarılması)

## **1.2. Günəş-geotermal enerjisi təchizatına malik binalar üçün çoxqatlı fasad panelinin konstruksiyası**

Şəkil 1.8-də otaq tərəfdən çoxqatlı fasad panelinin ümumi görünüşü və daxili təbəqənin istilik profillərinin yerini, özü kəsici vintlərdən istifadə edərək sement plitələrinin daxili çərçivəyə qoşulma nöqtələrini və istilik profillərinin dayaq elementlərinə bərkidilməsini göstərən 1-1 uzununa kəsiyi göstərilmişdir. Şəkil 1.9-da istilik profili boyunca 2-2 eninə kəsiyi və dayaq elementi boyunca 3-3 kəsiyi göstərilmişdir. Şəkil 1.10-da adi çoxqatlı fasad paneli üçün dayaq elementi (DE) göstərilmişdir. İkitavrın xarici tərəfindən dayaq elementini monolit döşəmə plitəsinin ucuna lövbərlərlə (ankerlərlə) bağlamaq üçün montaj dəşikləri hazırlanmışdır.

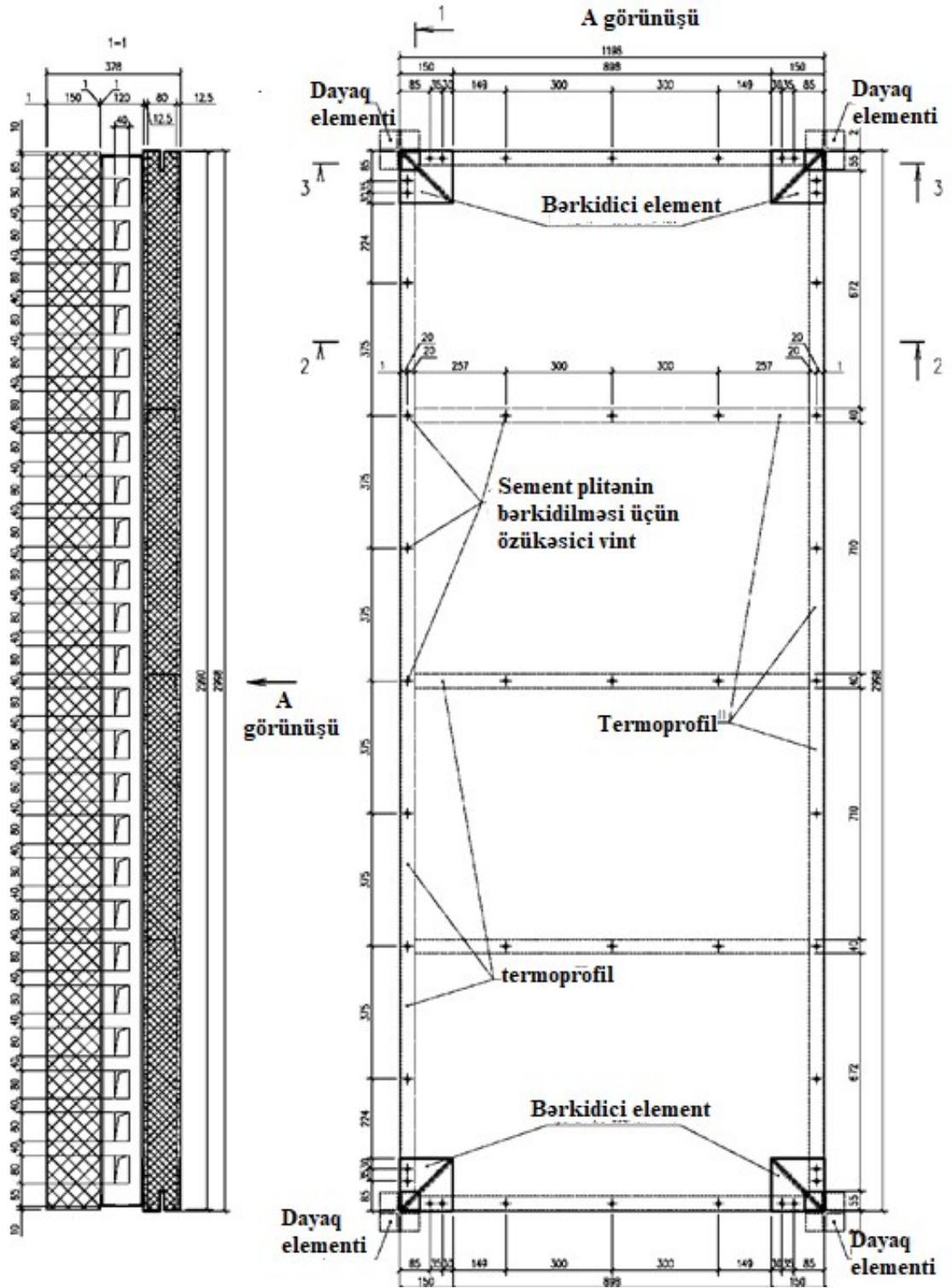
Sendviç panellərin xarici təbəqəsinin şaquli istiqamətdə hermetikliyi birləşdirici element və xüsusi mineral yunun quraşdırılması ilə, üfüqi istiqamətdə - silikon hermetikli Z-lock kilidlə həll edilir. Havalandırılan boşluğun və otaqların tərəfindən qalan birləşmələri hermetikləşdirmək üçün xüsusi bir istilik izolyasiya edən şnur quraşdırılmışdır.

Şəkil 1.11-də bərkidici element göstərilmişdir. Şəkil 1.12-də parapet çoxqatlı fasad paneli göstərilmişdir; panelin yuxarı hissəsində ventilyasiya olunan boşluqdan işlənmiş havanı çıxarmaq üçün dəşik nəzərdə tutulmuş və buraya izolyasiya edilmiş bir klapan quraşdırılmışdır. Şəkil 1.13-də parapet paneli üçün dayaq elementi (DE2) göstərilmişdir. Dayaq elementi çoxqatlı fasad paneli ilə eyni vaxtda quraşdırılır, dayaq elementi dam örtüyünün monolit tərəfinin üfüqi səthinə bərkidilir, ititavrın dayaq elementi parapet panelinin bərkidici elementinin yivinə daxil edilir.

Bu panel bəzi parametrləri (istilik izolyasiyasının daxili və xarici təbəqələrinin qalınlığı, perforasiya edilmiş profil və perforasiyaların ölçüləri, boşluğa daxil olan quru havanın temperaturu və s.) dəyişdirərək müxtəlif iqlim şəraiti olan bölgələrdə istifadə edilə bilər.

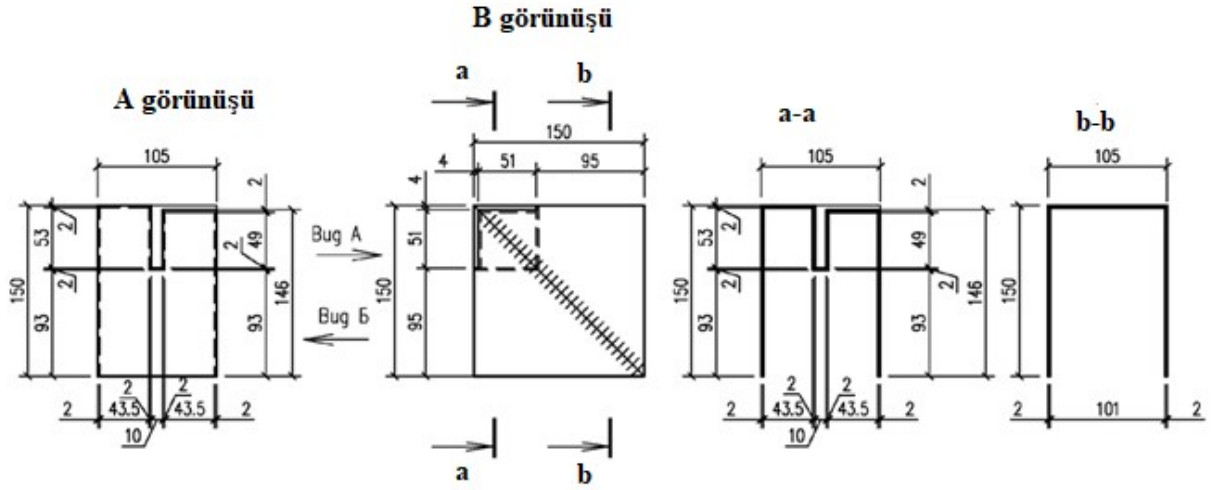
Panelin zavod istehsalı olduğu güman edilir, çoxqatlı fasad panelindən döşəmə plitələrinə və ya yarı taxta sistemə bərkidilmiş müstəqil asma bağlayıcı quruluş kimi, həmçinin binaların yenidən qurulmasında və fasad üzlükləri üçün izolyasiya sistemi kimi istifadə etmək mümkündür.

Çoxqatlı fasad panelinin üstünlüyü resurs intensivliyinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması və fasadın quraşdırılmasının sadələşdirilməsi, istilik izolyasiyasının xidmət müddətini artırılması, həmçinin binanın enerji istehlakının azaldılmasıdır.

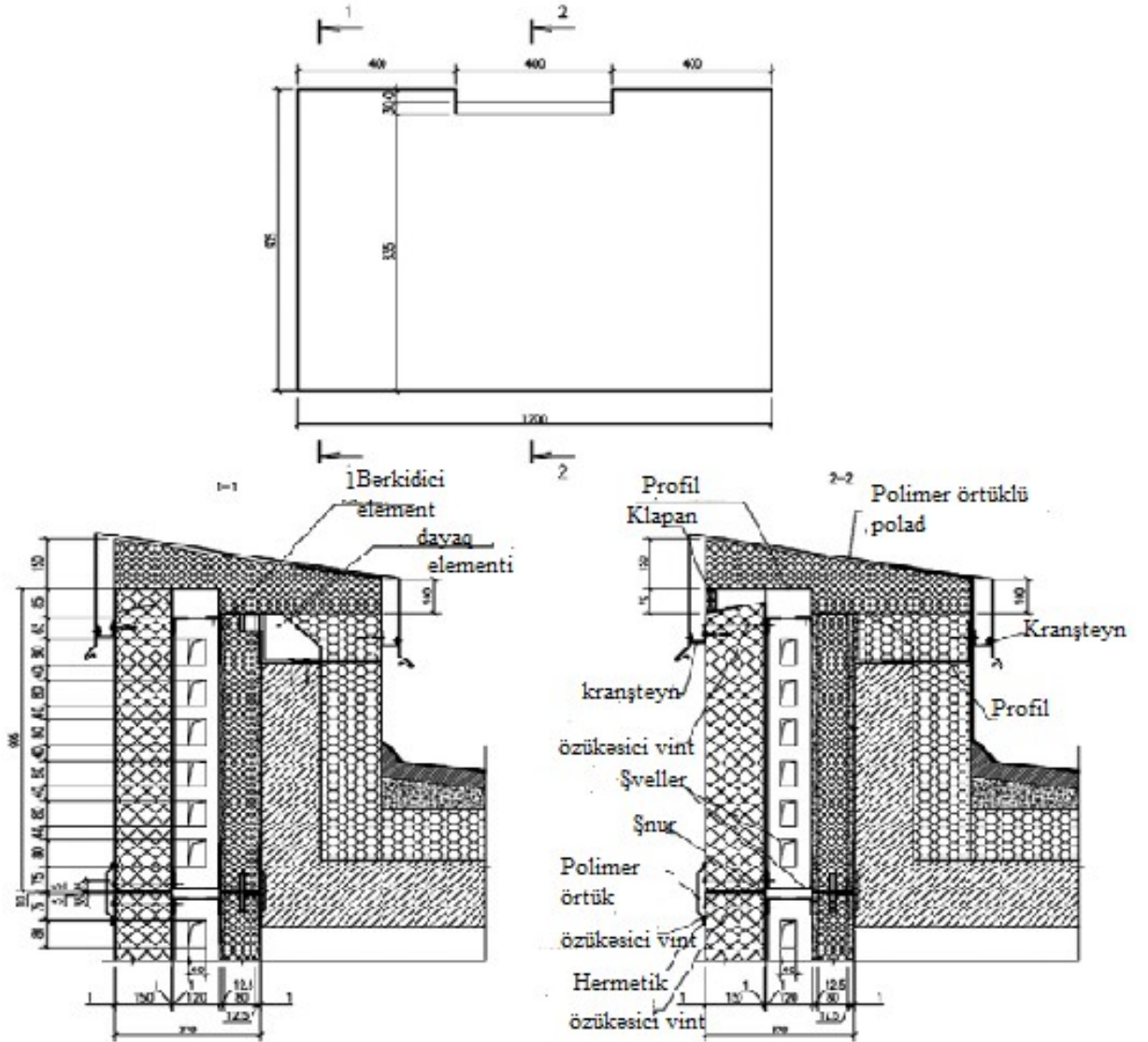


Şəkil 1.8. Çoxqatlı fasad panelinin sxemi (daxili səthə baxış). 1-1 kəsiyi

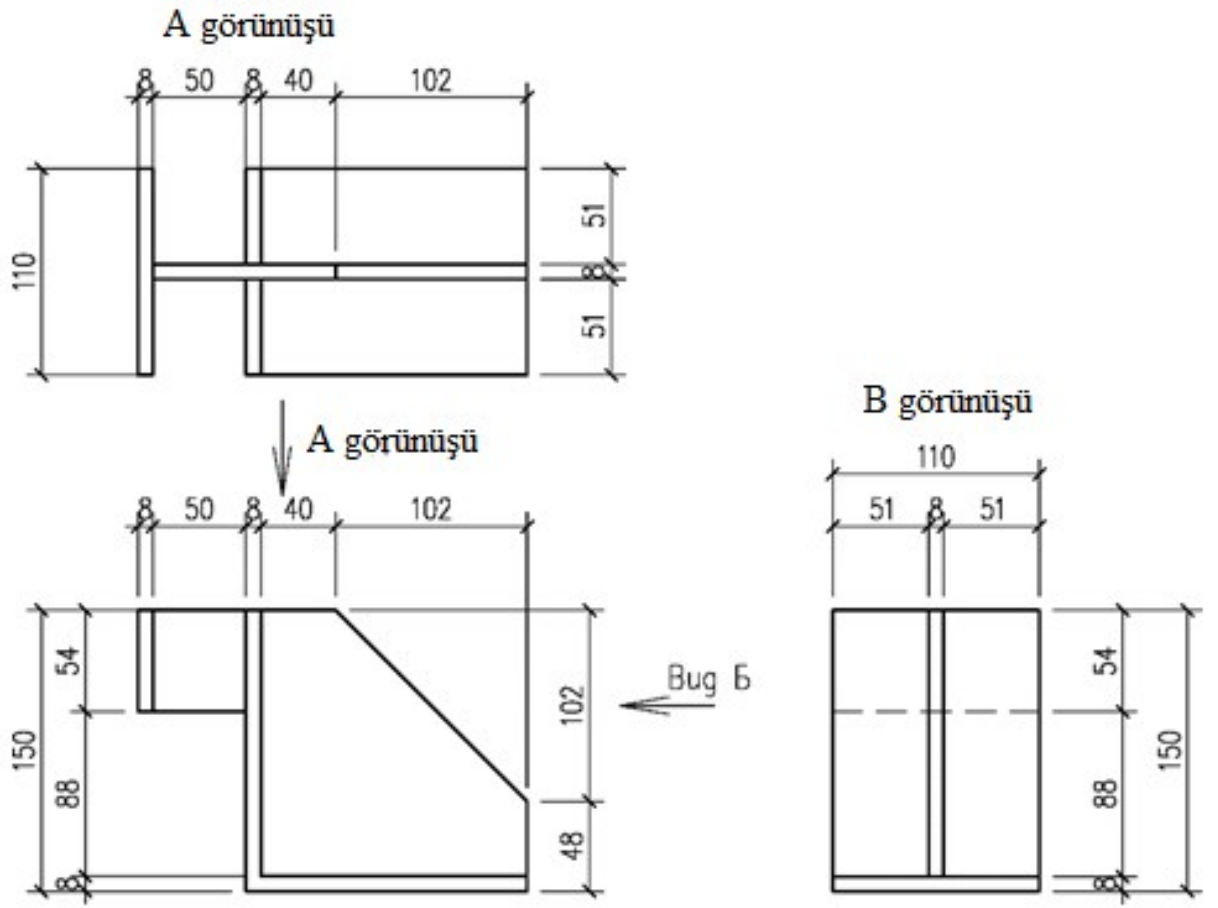




Şekil 1.11. Berkidici element



Şekil 1.12. Parapet çoxqatlı fasad paneli



Şekil 1.13. Paneli için dayaq elementi

## **1-Cİ FƏSİLƏ AİD NƏTİCƏLƏR**

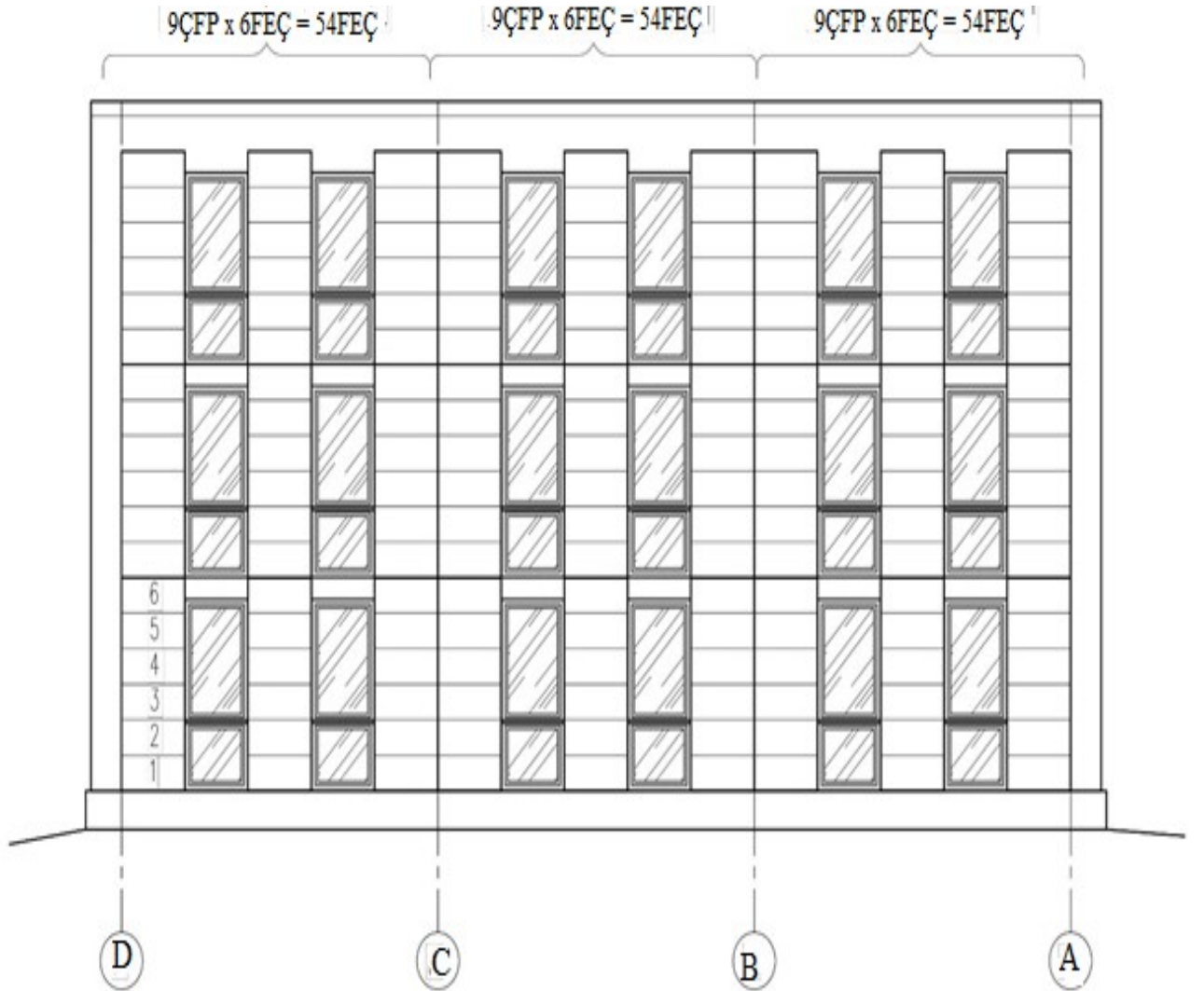
1. Azərbaycan Respublikasının cənub ərazisində ekzogen proseslər nəticəsində toplanmış günəş enerjisinin potensialının analizi aparılmışdır.
2. Binalarda enerji effektivliyinin artırılması məqsədilə bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə üzrə yeni konsepsiya təklif edilmiş və işlənib hazırlanmışdır.
3. Günəş-geotermal enerji təchizatına malik olan binalarda istifadə üçün çoxqatlı fasad panelinin konstruktiv həlli işlənib hazırlanmışdır.

## FƏSİL 2. İNTEQRASIYA OLUNMUŞ FASAD ŞƏBƏKƏLİ GÜNƏŞ ELEKTRİK STANSİYASI

### 2.1. Şəbəkəli günəş elektrik stansiyasının xarakteristikası

Çoxqatlı fasad panelinə xarici tərəfdən fotoelektrik çevirici əlavə edilə bilər. Üçmərtəbəli yaşayış binasının nümunəsindən istifadə edərək, cənub fasadına inteqrasiya edilmiş şəbəkəli günəş elektrik stansiyasının quruluşu nəzərdən keçirilmişdir.

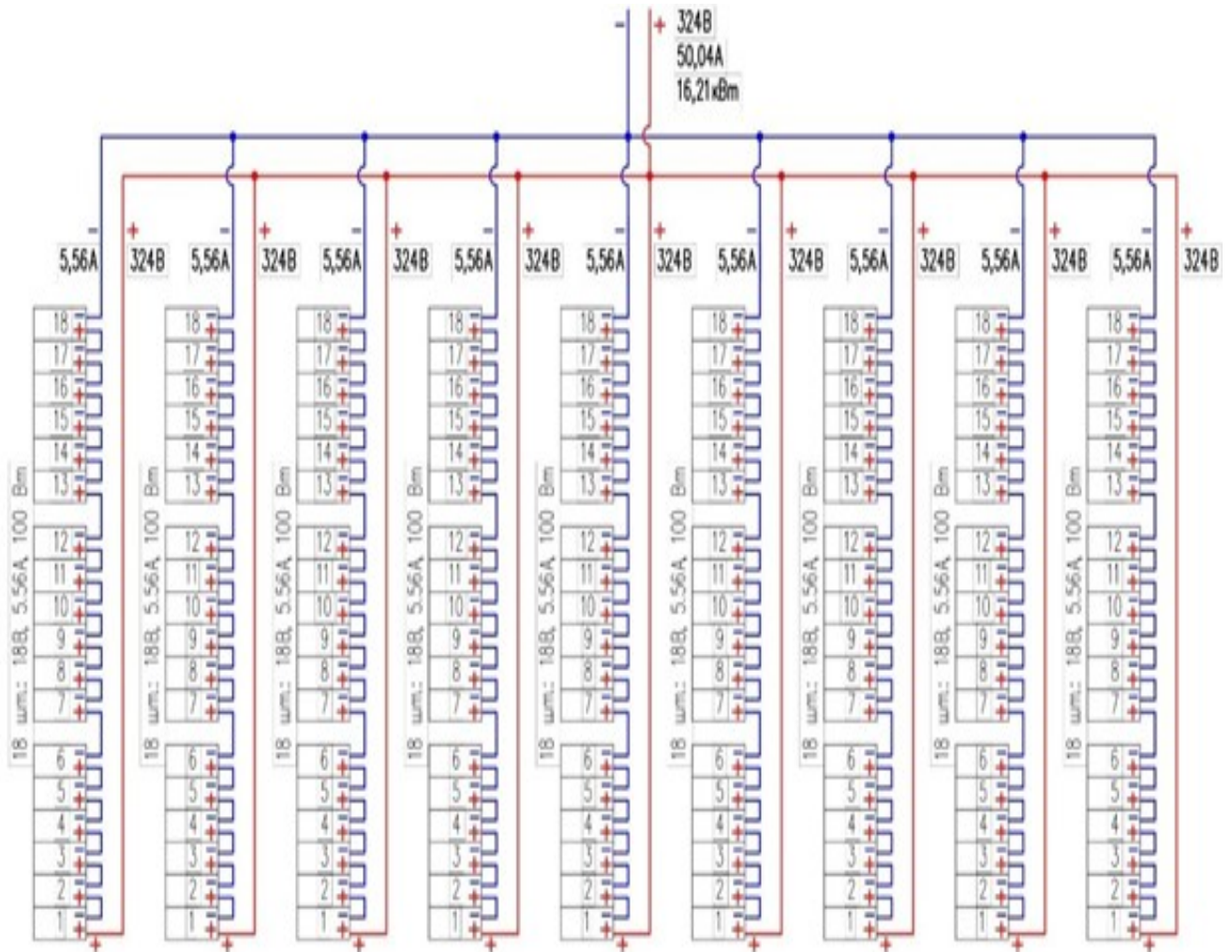
Şəkil 2.1-də sxematik olaraq cənub fasadı göstərilmişdir. Hər bir çoxqatlı fasad panelində 20% səmərəliliyi (18 V; 5,56 A) olan 100 Vt gücündə 6 fotoelektrik çevirici yerləşdirə bilər. Fasadda ümumilikdə 162 günəş paneli yerləşdirilib.



Şəkil 2.1. Fotoelektrik çeviriciləri olan cənub fasad



Panellər 9 qrup təşkil etməklə 18 ədəd olmaqla ardıcıl olaraq birləşdirilmişdir. Günəş stansiyasının pik gücü 16,21 kVt təşkil edir. Birləşmə sxemi şəkil 2.2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.2. Günəş panellərinin birləşmə sxemi

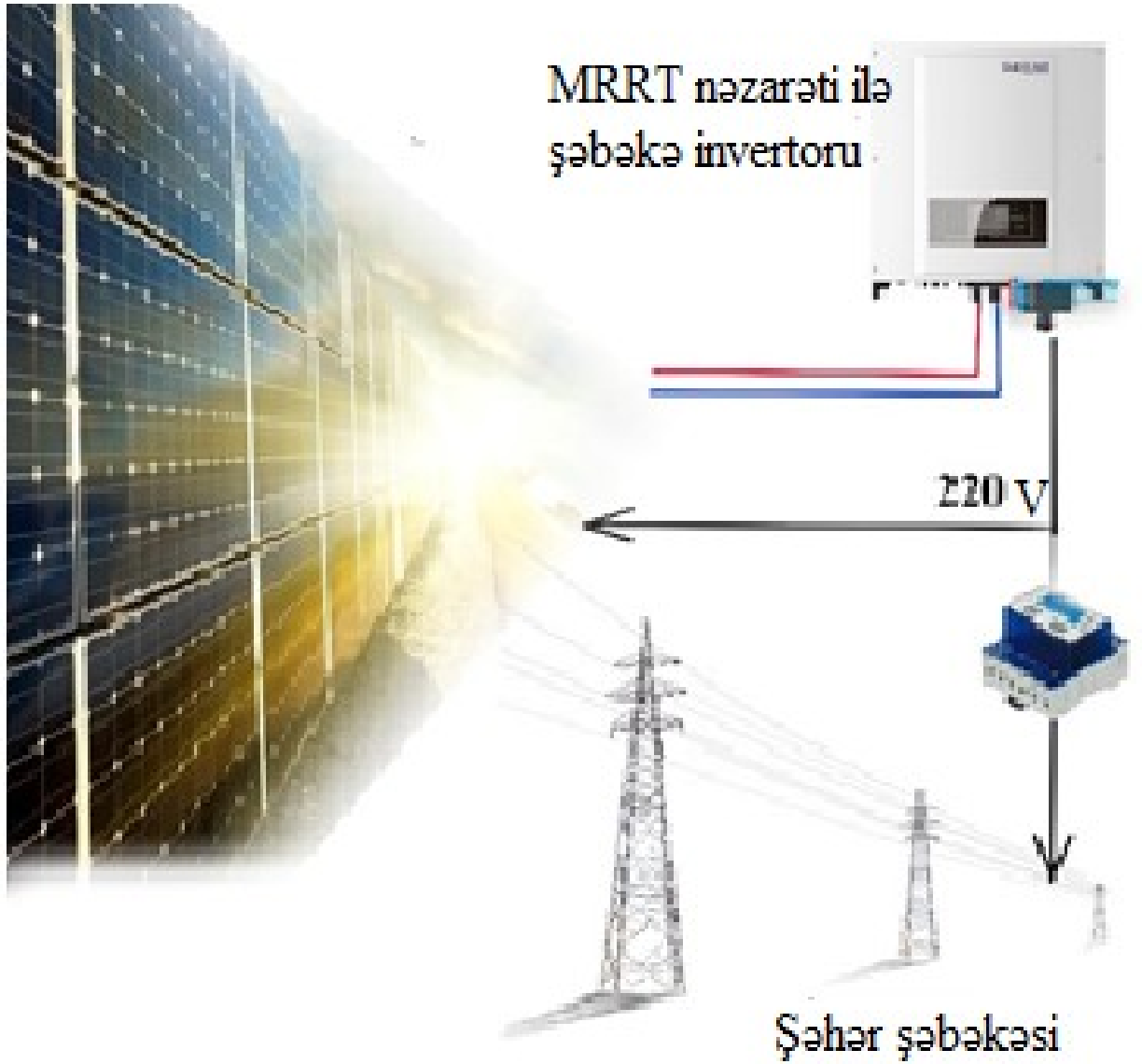
Şəkil 2.3-də quraşdırılmış MRRT nəzarətçi olan şəbəkə hermetik üç fazlı çevirici (inverter) vasitəsilə şəhər şəbəkəsi ilə inteqrasiya olunmuş günəş panellərinin birləşmə sxemi göstərilmişdir.

Binada yaşayanların təxmini sayı 29 nəfərdir. Lənkəran və Masallı üçün günəş panellərindən enerji istehsalının müqayisəli təhlili aparılıb.

Elektrik sobaları ilə təchiz edilmiş çoxmənzilli evlər üçün yaşayış binalarında elektrik təchizatı üzrə kommunal xidmətlərin istehlak standartlarına uyğun olaraq, Lənkəran üçün ayda adambaşına istehlak norması (kVt/saat) müəyyən edilir:

- 2 otaqlı mənzillər üçün 117 kVt/saat;

- 3 otaqlı mənzillər üçün 99 kVt/saat;
- 4 otaqlı mənzillər üçün 85 kVt/saat.



Şəkil 2.3. Günəş elektrik stansiyasının şərti sxemi

Masallı üçün elektrik təchizatı üzrə kommunal xidmətlərin istehlak standartı:

- 2 otaqlı mənzillər üçün 108 kVt/saat;
- 3 otaqlı mənzillər üçün 91 kVt/saat;
- 4 otaqlı mənzillər üçün 79 kVt/saat.

Cənuba yönəlmiş şaquli səthdə buludsuz səma altında ümumi günəş radiasiyasının (birbaşa və səpələnmiş) ümumi qiyməti Lənkəran üçün 1776,94 kVt/m<sup>2</sup> və Masallı üçün 1804 kVt/m<sup>2</sup> təşkil edir. Bundan əlavə, bir ildə aydın

günlərin sayının bir ildəki günlərin sayına nisbətində bərabər bir əmsal hesablanmışdır. Lənkəran üçün aydın günlərin orta sayı 290 gün, Masallı üçün - 300 gündür.

Lənkəran üçün qəbul edilmiş əmsal nəzərə alınmaqla ümumi illik günəş radiasiyası 1257,47 kVt/m<sup>2</sup>, Masallı üçün 1479,19 kVt/m<sup>2</sup>-ə bərabərdir.

Cədvəl 3.1-də iki şəhər üçün yaşayış binasının ümumi enerji istehlakı göstərilmişdir.

Cədvəl 3.1

Yaşayış binasındakı mənzillər üçün ümumi elektrik enerji istehlakı

Şəhər	Mənzildə otaqların sayı	2 ot	3 ot	4 ot	Cəmi:
		Mənzildə yaşayanların sayı, insan	2	15	12
Lənkəran	Ayda adambaşına istehlak norması, <i>kVt-saat</i>	117	99	85	
	Mənzillər üzrə ay ərzində istehlak, <i>kVt-saat</i>	234	1485	1020	2739
	Mənzillər üzrə il ərzində istehlak, <i>kVt-saat</i>	2808	17820	12240	32868
Masallı	Ayda adambaşına istehlak norması, <i>kVt-saat</i>	108	91	79	
	Mənzillər üzrə ay ərzində istehlak, <i>kVt-saat</i>	216	1365	948	2529
	Mənzillər üzrə il ərzində istehlak, <i>kVt-saat</i>	2592	16380	11376	30348

Cədvəl 3.2-də günəş panellərindən müxtəlif f.i.ə.-lərinə malik elektrik enerjisi istehsalı göstərilir - 10%, 15%, 20%. Binanın cənub fəsadında quraşdırılmış panellərin sahəsi 97,2 m<sup>2</sup>-ə bərabər olduqda, Lənkəran üçün səmərəliliyi 20% olan qəbul edilmiş panellər tərəfindən enerji istehsalı sakinlərin ümumi illik elektrik istehlakının təxminən 38% -ni təşkil edir, ümumi bina ehtiyacları üçün elektrik istehlakı istisna olmaqla Masallı üçün panellərdən alınan enerji istehsalı sakinlər tərəfindən ümumi istehlakın təxminən 34% -ni təşkil edir.

## Müxtəlif f.i.ə.-larına malik günəş panelləri ilə elektrik enerjisi istehsalı

	Lənkəran	Masallı	Fotoelektrik çeviricilər vasitəsilə istehsal olunan enerjinin enerji istehlakına nisbəti (%)	
İllik ümumi günəş radiasiyası Q, kVt·saat/m <sup>2</sup>	657,47	1 479,19		
Fasada daxil olan illik ümumi günəş radiasiyasının qiyməti, kVt·saat	63 906,08	143 777,27	Lənkəran	Masallı
Fotoelektrik çeviricilər vasitəsilə istehsal olunan enerji (10 % f.i.ə. ilə), kVt·saat	6 390,60	14 377,70	19,4	47,37
Fotoelektrik çeviricilər vasitəsilə istehsal olunan enerji (15 % f.i.ə. ilə), kVt·saat	9 585,91	21 566,55	29,16	71,06
Fotoelektrik çeviricilər vasitəsilə istehsal olunan enerji (20 % f.i.ə. ilə), kVt·saat	12 781,20	28 755,40	38,88	94,75

Qanuna qəbul edilmiş dəyişikliklərə uyğun olaraq, mikrogenerasiya konsepsiyası - 15 kVt-a qədər gücü olan özəl elektrik stansiyaları təqdim edildi. Seçilmiş yaşayış binası üçün elektrik stansiyasının gücü 15 kVt-dan azdırsa, yayda, istehsal olunan enerjinin öz istehlakından artıq olduqda, enerji təchizatı təşkilatları mikrogenerator qurğuları tərəfindən istehsal olunan enerjini verilmiş ərazidə müəyyən edilmiş topdansatış tarifinə uyğun olaraq almalıdırlar. Qanunda bərpa olunan enerjinin inkişafındakı durğunluğa əhəmiyyətli dərəcədə təsir edən şəbəkəyə verilən elektrik enerjisinin kompensasiyasına icazə verilmir [3].

## **2.2. Fotoelektrik çeviricilərin eksperimental tədqiqatının metodikası və nəticələri**

Təcrübənin məsələləri aşağıdakı kimi tərtib edilmişdir:

- nazik təbəqəli çeviricilərin energetik xarakteristikalarını tədqiq etmək;
- üfüqə meyl bucağından asılı olaraq amorf və monokristal silisium əsasında panellərin faydalı iş əmsallarının dəyişikliklərini təhlil etmək;
- eyni günəş insolyasiyası şəraitində amorf və monokristal silisium əsasında panellərin faydalı iş əmsallarının qiymətlərini müqayisə etmək.

Yay fəslində Uni-Solar (Çin) şirkətinin fotoelektrik çeviricilərinin energetik xarakteristikalarına dair eksperimental tədqiqatlar aparılıb. Elektrik lampalarının (yük simulyatorlarının) 5 ilə 100 Vt aralığında güc diapazonunda sabit cərəyanda elektrik yükləmələrinin modelləşdirilməsinə baxılmışdır.

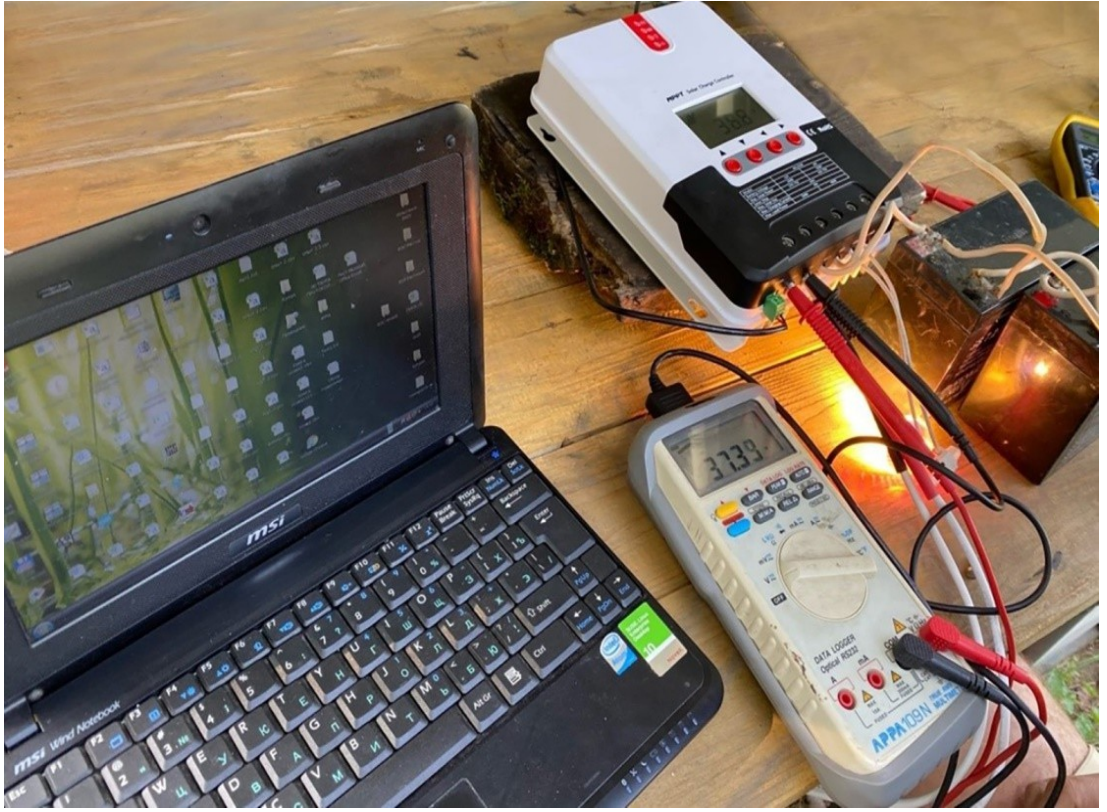
Fotoelektrik çeviricilərin tədqiqatı Lənkəran ərazisində aparılıb. Təcrübə qurğusu gücləndirilmiş taxta çərçivədə OSB substratından ibarətdir, bunun üzərinə xüsusi yapışqan ilə çevik günəş paneli yapışdırılmışdır (Şəkil 2.4).

Bundan əlavə, panel perimetri boyunca 60 sm-lik artımlarla metal qısqaclarla bərkidilir. Uni-Solar firması tərəfindən istehsal olunan günəş elementi amorf silikondan hazırlanır. Panel ölçüləri – 5000x390 mm (ölçüləri 356x239 mm olan 20 yuva). Panelin nominal gücü 144 Vt-dır. Nominal çıxış gərginliyi 24 V, göstərilən pasport f.i.ə. 14%-dir. İstehsalçı tərəfindən panelin yüngül çəkisi, dizayn çevikliyi, su yalıtım qatını pozmadan damda quraşdırmaq imkanı, qismən kölgələmə və yüksək temperaturda yüksək performans kimi üstünlükləri qeyd edilmişdir. Günəş paneli 60° bucaq altında stasionar şəkildə cənuba yönəlib. Sınaqların aparıldığı ərazi 56°50'Ş.-də yerləşir. Şəkil 2.5-də eksperimental qurğu göstərilmişdir [4-5].

Doldurma tənzimləyicisi (10) (Şəkil 2.6-da) DELTA Solar Series MRRT 2420 seriyası (ingilis dilindən tərcümədə "Maximum Power Point Tracking" - maksimum güc nöqtəsinin izlənməsi) günəş modulunun istehsal gücünü, real olaraq maksimum gərginlikləri və cərəyanları izləyə bilər, sistemin batareyanı maksimum tutumla doldurmasına imkan verir. 2-pik və ya çox-pik izləmə texnologiyası ilə tənzimləyici sistemlərin enerji səmərəliliyini artırmaq üçün maksimum güc nöqtəsinə izləyir [6].

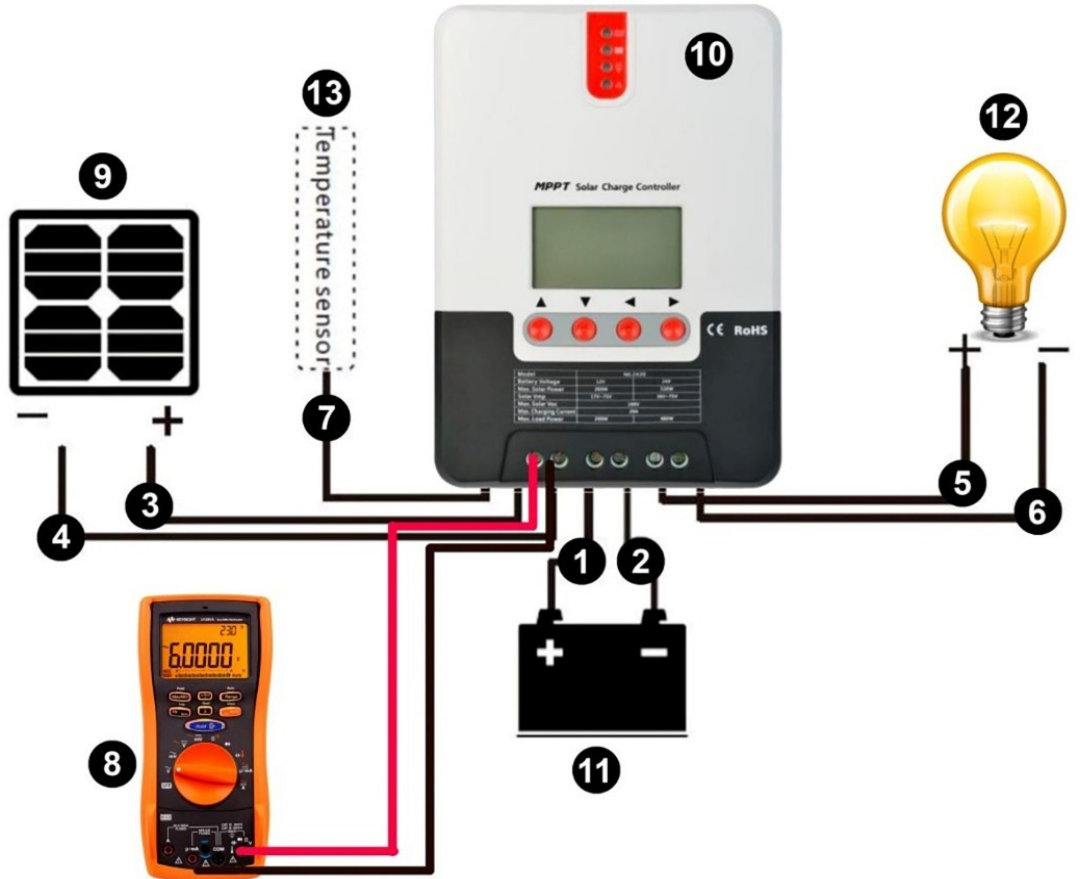


Şekil 2.4. Maili quraşdırılmış günəş paneli



Şəkil 2.5. Eksperimental qurğunun fotosu

Şəkil 2.6-da eksperimental qurğunun sxemi göstərilmişdir.



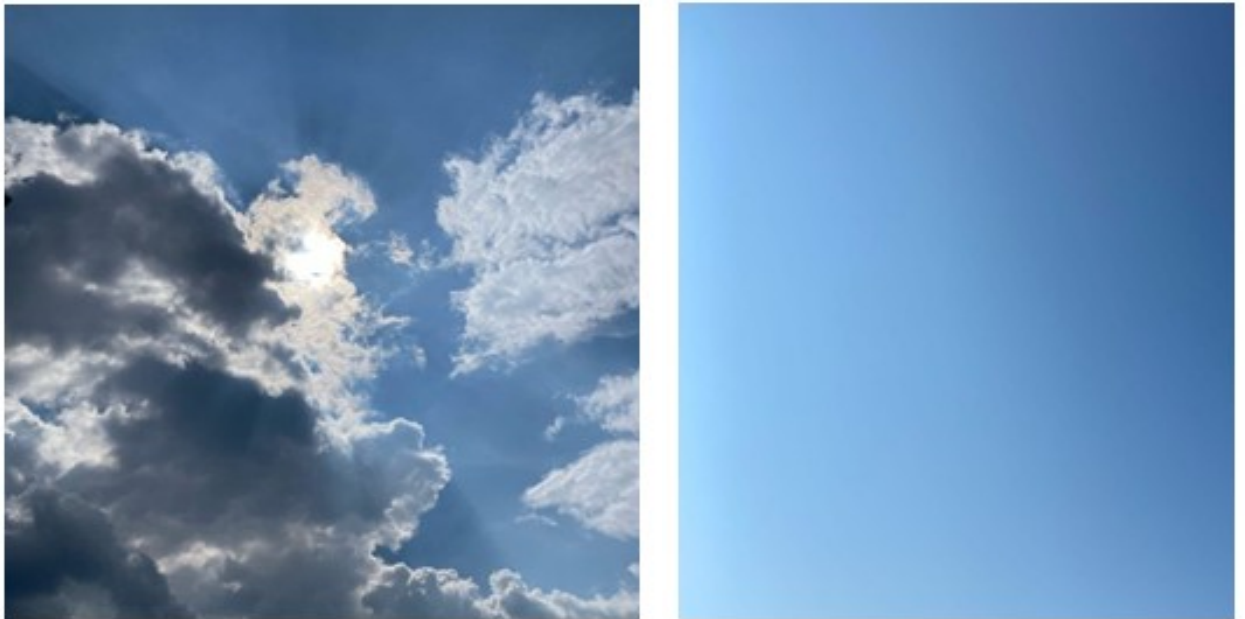
Şəkil 2.6. Eksperimental qurğunun sxemi

Günəş paneli (9) və multimetr (8) birləşdiricilərə (3 və 4), batareya (11) (14 V) birləşdiricilərə (1 və 2), yük (12) bağlayıcılara (5 və 6) qoşulur, xarici temperatur sensoru (13) bağlayıcı 7 ilə birləşdirilir.

Gərginlik və cərəyan ölçmələri aşağıdakı hallarda aparılmışdır:

- yüksüz (boş vəziyyətdə);
- 5 Vt gücünə malik lampa ilə (12 V);
- 10 Vt gücünə malik lampa ilə (12 V);
- 20 Vt gücünə malik lampa ilə (12 V);
- 40 Vt gücünə malik lampa ilə (36 V).
- 100 Vt gücünə malik lampa ilə (12 V).

Ölçmələr iki dəfə aparılıb: iyulun 26-da dəyişkən buludlu şəraitdə və avqustun 7-də açıq havada (Şəkil 2.7).



Şəkil 2.7. Ekeperimentin aparılması zamanı səmanın fotosu  
26 iyul (soldan) və 07 avqust (sağdan)

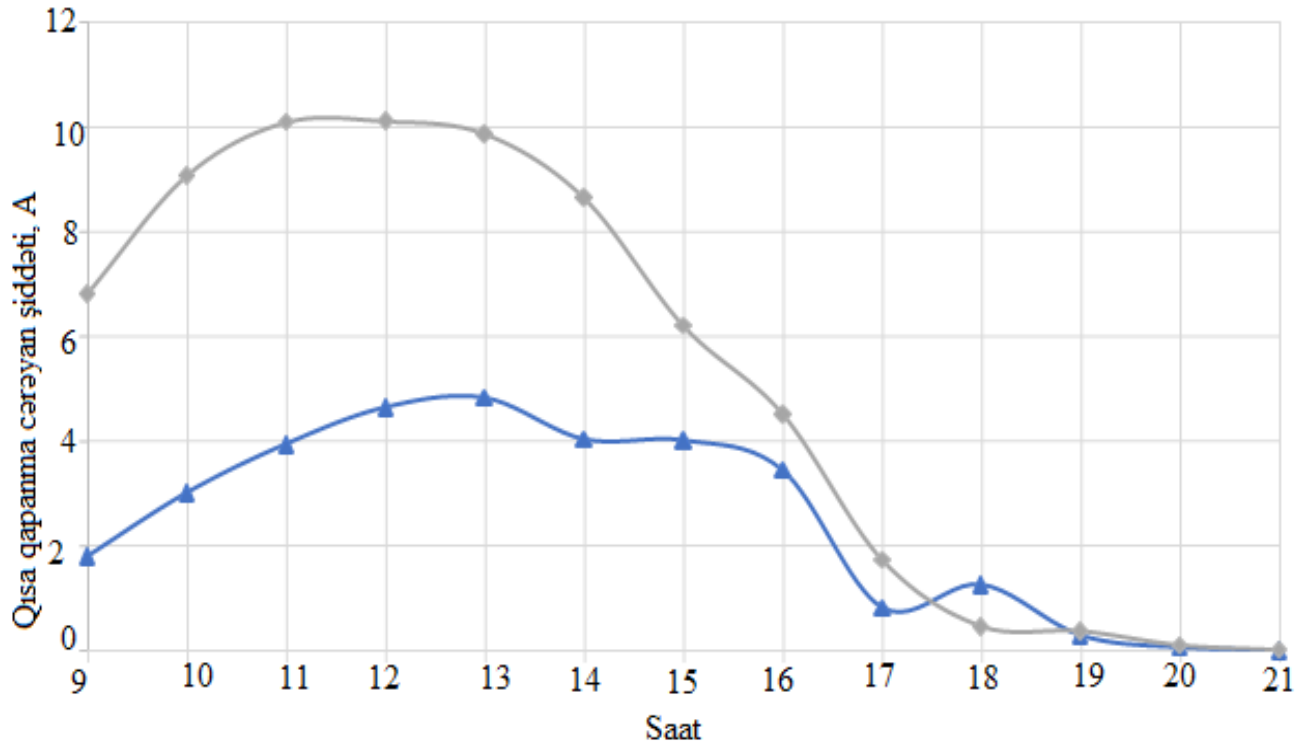
Iyulun 26-da fotoelektrik çeviriciyə 100 Vt yük bağlayarkən, lampanı yandırdıqdan 2-3 dəqiqə sonra batareyanın doldurulmasında azalma müşahidə edildi. Saat 12-00-dan 13-00-a qədər ölçmə dövründə ümumi günəş radiasiyası  $117,66 \text{ Vt/m}^2$  təşkil etmişdir. Avqustun 7-də eyni 100 Vt yüklə, 10 dəqiqəlik cərəyan və gərginlik ölçmələrindən sonra batareyanın doldurulması 100%-ə qədər oldu, lakin 2 dəqiqə ərzində batareyanın doldurulması 90%-95%-ə düşdü. Saat 11-00-dan 12-00-a qədər ölçmə dövründə ümumi günəş radiasiyası  $644,57 \text{ Vt/m}^2$  təşkil etmişdir.



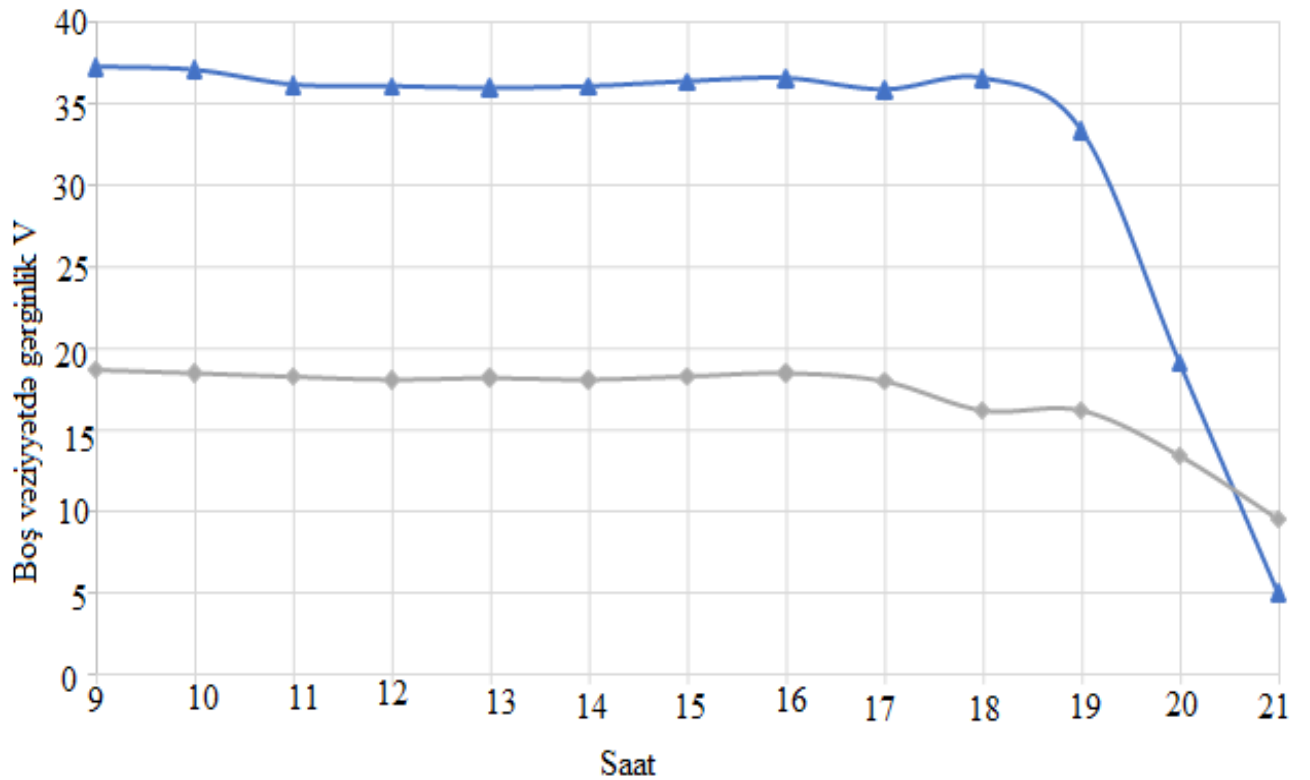
Sahədə eksperimental qurğunun yanında eyni istiqamət və üfüqə meyl bucağı ilə 150 Vt gücündə, nominal çıxış gərginliyi 12 V olan monokristal silisium əsasında günəş paneli quraşdırılmışdır (Şəkil 2.8). Panelin qiymətləndirilmiş f.i.ə. 13% -dir. Gün ərzində, avqustun 7-si saat 09-00-dan 21-00-dək amorf və monokristal silisium əsasında iki günəş fotoelektrik çevirici üçün qısa qapanma cərəyanı  $I_{q.q.}$  (Şəkil 2.9) və boş vəziyyətdə gərginliyi  $U_{b.v.}$  (Şəkil 2.10) ölçülmüşdür.



Şəkil 2.8. Monokristal silisium əsasında 150 Vt gücündə fotoelektrik çevirici



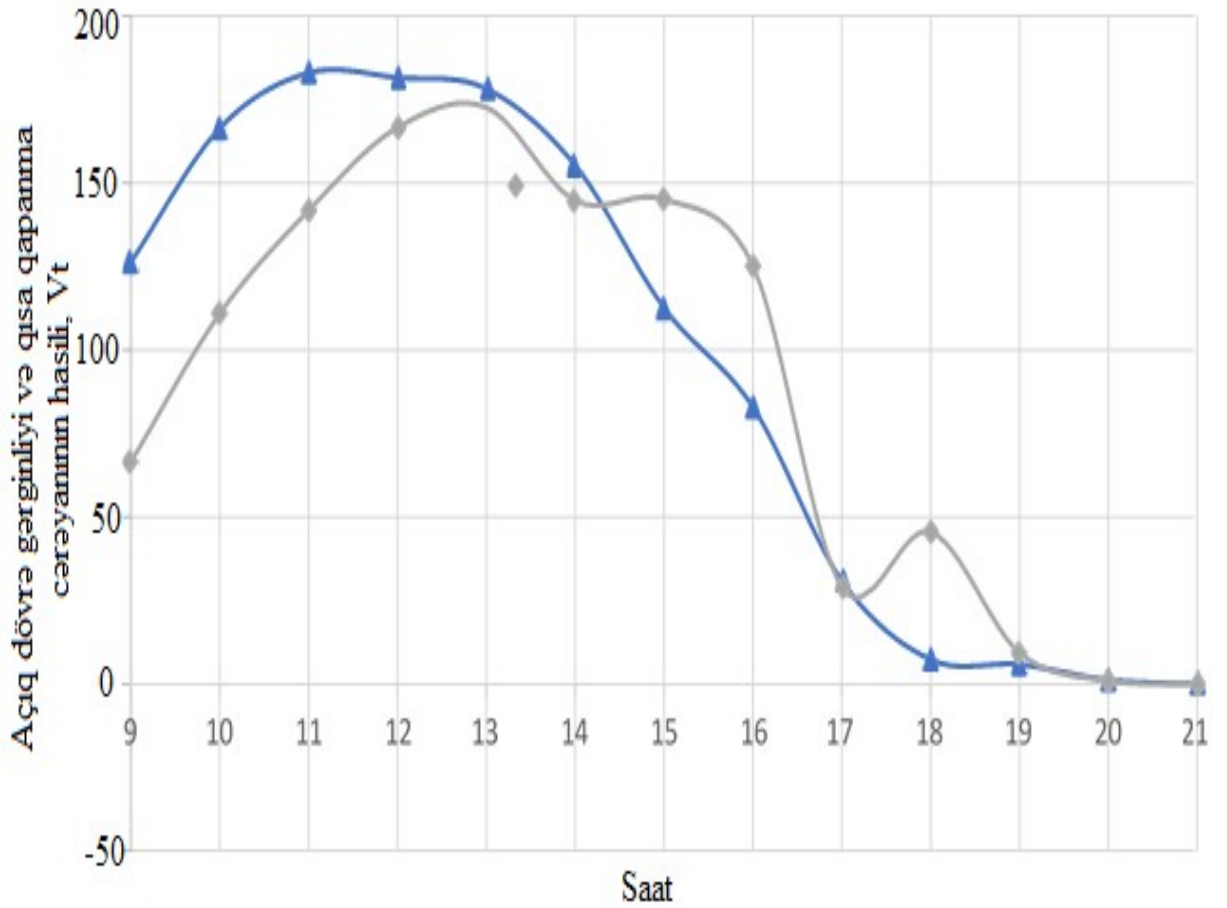
Şəkil 2.9. Amorf və monokristal silisium (—▲— Amorf FEÇ, —◆— Monokristal FEÇ) əsasında günəş fotoelektrik çevirici üçün qısa qapanma cərəyanının  $I_{q,q}$  dəyişmə qrafiki



Şəkil 2.10. Amorf və monokristal silisium (—▲— Amorf FEÇ, —◆— Monokristal FEÇ) əsasında günəş fotoelektrik çevirici üçün boş vəziyyətdə gərginliyin  $U_{b.v}$  dəyişmə qrafiki

Şəkil 2.11-də iki növ panel üçün açıq dövrə gərginliyi və qısa qapanma cərəyanının

hasilinin dəyişmə qrafiki göstərilmişdir.

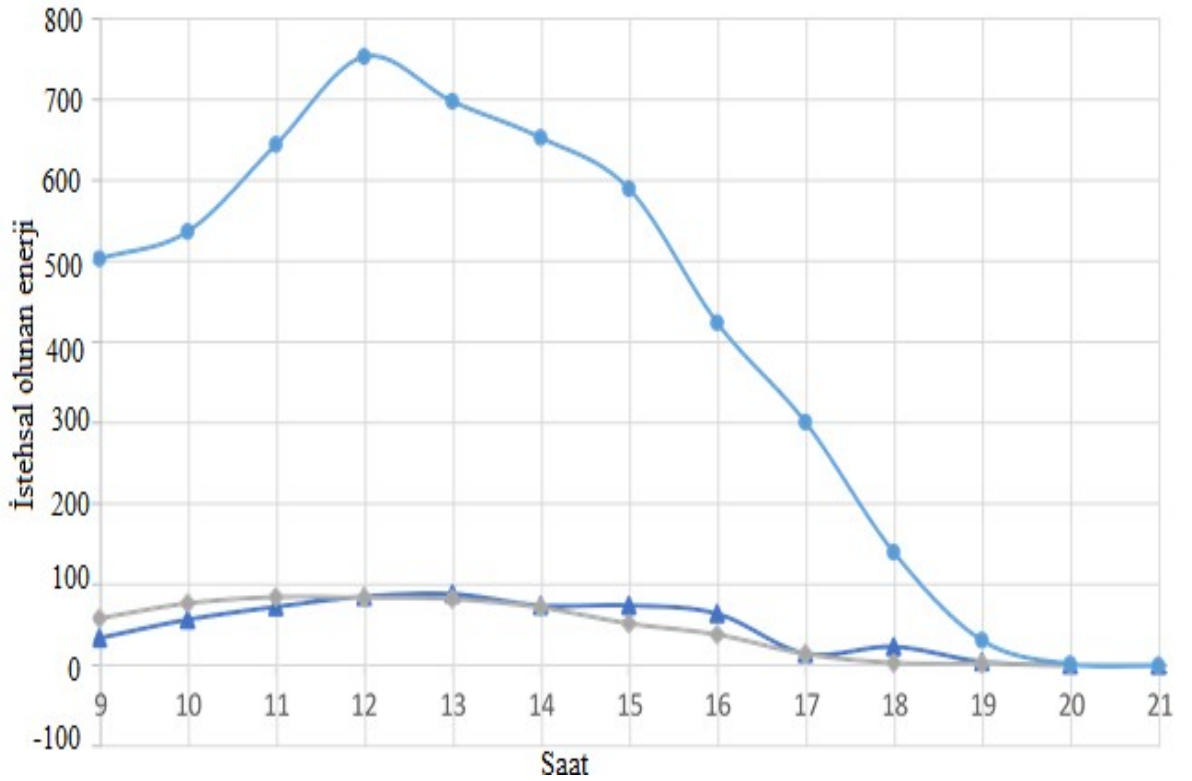


Şəkil 2.11. Müxtəlif fotoelektrik çeviricilərin (—▲— Amorf FEÇ, —◆— Monokristal FEÇ) açıq dövrə gərginliyi və qısa qapanma cərəyanının hasilinin dəyişmə qrafiki

Təcrübə zamanı amorf və monokristal silisium əsasında günəş fotoelektrik çeviriciləri üçün faydalı iş əmsallarının qiymətləri əldə edilmişdir. Müxtəlif günəş fotoelektrik çeviriciləri üçün faydalı iş əmsalları istehsal olunan enerjinin onların səthində qəbul edilən günəş radiasiyasına nisbəti kimi müəyyən edilir (Şəkil 2.12).

$$\eta_{amorf} = U_{a.d.} \cdot J_{q.q.} \cdot 100\% / S_{amorf} \cdot Q = 11,75\%, \quad (2.1)$$

$$\eta_{monokr.} = U_{xa.d.} \cdot J_{q.q.} \cdot 100\% / S_{monokr.} \cdot Q = 11,25\%. \quad (2.2)$$



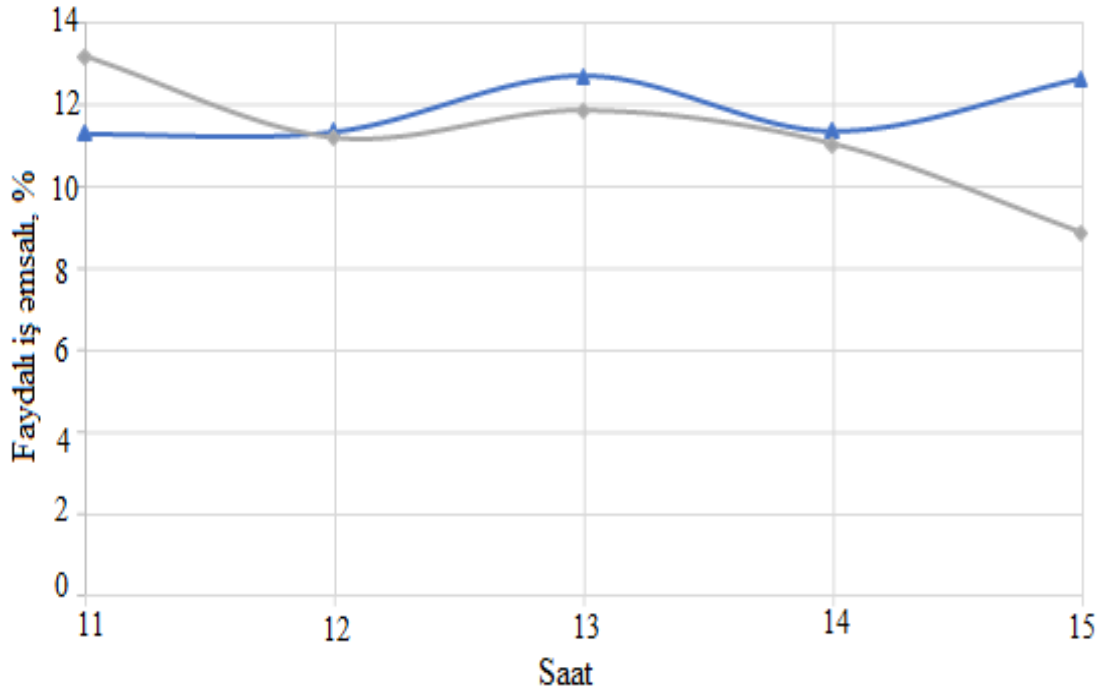
Şəkil 2.12. Amorf ( —▲— Amorf) və monokristal (—◆— Monokr.) silisium əsasında fotoelektrik çeviricinin istehsal etdiyi enerji (—●— Cəmi)

Amorf və monokristal silisium əsasında fotoelektrik çeviricilər üçün 11-00-dən 15-00-a qədər olan dövrdə faydalı iş əmsallarının dəyişmə əyriləri şəkil 2.13-də göstərilmişdir.

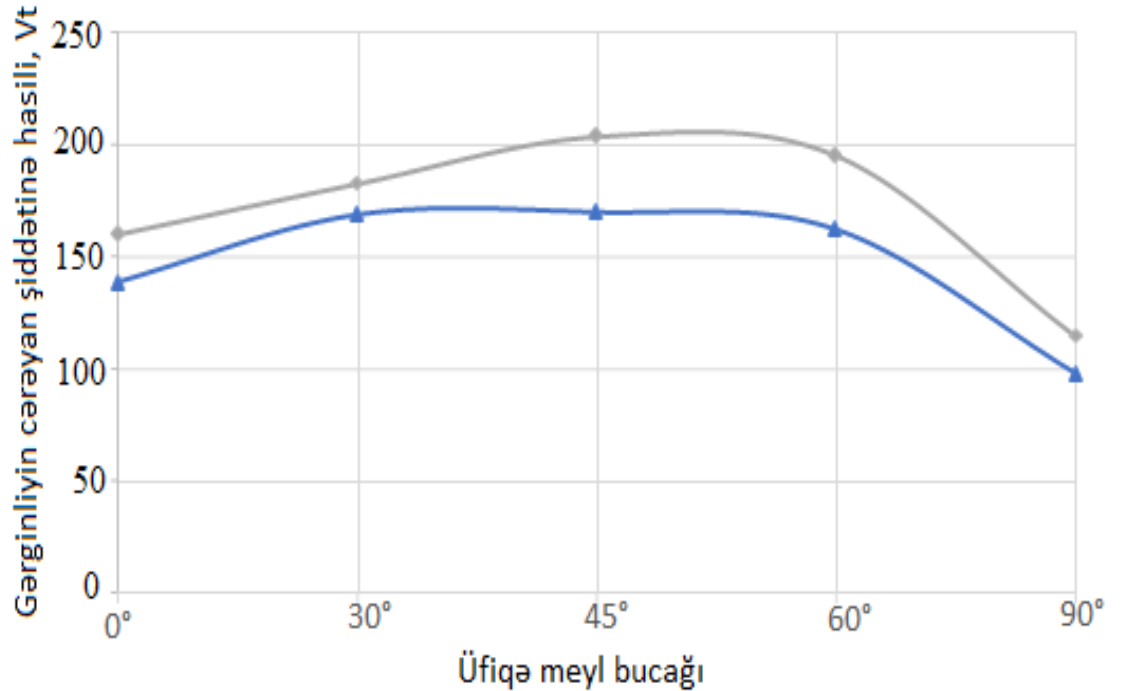
Eksperimental qurğular üfüqə meyl bucağı dəyişdikdə müxtəlif günəş elementləri üçün qısaqapanma cərəyanını və açıq dövrə gərginliyini təhlil etməyə və müqayisə etməyə imkan verdi.

Şəkil 2.14-də  $I_{q,q} \times U_{a,d}$  əyrilərinin panellərin vəziyyətindən asılılığı göstərilmişdir. Əldə edilmiş məlumatlara əsasən belə nəticəyə gələ bilərik ki, hər iki fotoelektrik çeviricilər üçün meyl bucağı dəyişdikdə,  $I_{q,q} \times U_{a,d}$  demək olar ki, eyni şəkildə dəyişir:

- amorf panel üçün  $(I_{q,q} \cdot U_{a,d})_{min} / (I_{q,q} \cdot U_{a,d})_{max} = 0,57$
- minikristal panel üçün  $(I_{q,q} \cdot U_{a,d})_{min} / (I_{q,q} \cdot U_{a,d})_{max} = 0,56$



- Şəkil 2.13. Amorf (—▲— F.İ.Ə. Amorf) və monokristal (—◆— F.İ.Ə. Monokr.) silisium əsasında fotoelektrik çeviricilər üçün saat 11-00-dan 15-00-a qədər olan dövrdə faydalı iş əmsallarının dəyişmə əyriləri



- Şəkil 2.14. Üfüqə meyl bucağından asılı olaraq müxtəlif fotoelektrik çeviricilərin (—▲— Amorf FEÇ, —◆— Monokr. FEÇ) gərginliyin  $U_{a.d.}$  qısa qapanma cərəyan şiddətinə  $I_{q.q.}$  hasilinin asılılıq qrafikləri

## 2-Cİ FƏSİLƏ AİD NƏTİCƏLƏR

1. Binaya inteqrasiya olunmuş günəş fasadının energetik potensialının aparılmış analizi müxtəlif illik ümumi günəş radiyasısına malik olan regionlar üçün şaquli səthlərdə günəş fotoelektrik çeviricilərindən istifadənin effektivliyini qiymətləndirməyə imkan verir.
2. Amorf və monokristal silisium əsasında fotoelektrik çeviricilərin f.i.ə.nın üfüqə meyl bucağından asılı olaraq əldə edilmiş eksperimental asılılıqları şaquli səthlərdə quraşdırıldıqda səmərəliliyin azalmasını qiymətləndirməyə imkan verir.
3. Günəş elementlərinin enerji xarakteristikalarını müqayisə etməyə imkan verən eyni günəş insolyasiyası şəraitində amorf və monokristal silisium əsasında panellərin f.i.ə.nın dəyişməsinin eksperimental təhlili aparılmışdır.

### FƏSİL 3. BƏRPA OLAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNDƏN KOMPLEKS İSTİFADƏ OLUNAN BİNALAR ÜÇÜN ÇOXQATLI FASAD PANELİNİN MÖHKƏMLİK VƏ İSTİLİK TEXNİKİ XARAKTERİSTİKALARININ TƏDQIQI

#### 3.1. Çoxqatlı fasad panelinin möhkəmlik hesabatının metodikası və nəticələri

Çoxqatlı fasad panelinin möhkəmlik hesabatı ANSYS proqram kompleksində yerinə yetirilir.

Çoxqatlı fasad panelinin konstruksiyasının hesablanması 1-ci və 2-ci qrupların həddi vəziyyətləri üçün yüklərin əlverişsiz birləşmələri nəzərə alınmaqla yerinə yetirilir. Panelin işinin nəzərdən keçirilən mərhələsi üçün müxtəlif yüklərin eyni vaxtda fəaliyyət göstərməsinin real variantlarının təhlilindən birləşmələr qurulur [7].

Daimi, uzunmüddətli və qısamüddətli olan yüklərin əsas birləşmələrini təyin etmək üçün düstur aşağıdakı formaya malikdir:

$$C_m = Pd + (\psi_{l1}Pl_1 + \psi_{l2}Pl_2 + \dots) + (\psi_{t1}Pt_1 + \psi_{t2}Pt_2 + \dots), \quad (3.1)$$

burada:  $Pd$  - istilik izolyasiya təbəqələrinin maksimum qalınlığı və ventilyasiya olunan boşluğun maksimum ölçüsündə panelin çəkisinə bərabər sabit yük;

$Pl$  - uzunmüddətli yüklər, bunlara konstruksiyanın bütövlüyünün və ya uc birləşmələrin hermetikliyinin pozulması zamanı, sendviç panelin istilik izolyasiyasının xarici təbəqəsinin nəmlik rejiminin dəyişməsi nəticəsində yaranan təsirlər daxildir;

$Pt$  – qısamüddətli yüklər, bunlara iqlim yükləri daxildir. Həmçinin əlavə olaraq otaq tərəfdən panelə düşən üfüqi yük də müəyyən edilir.

$\psi_l, \psi_t$  - müvafiq olaraq, uzunmüddətli və qısamüddətli yüklər üçün birləşmə əmsalları, bu əmsallar ən əlverişsiz birləşməni qiymətləndirmək üçün aşağıdakı kimi qəbul edilir:

$$\psi_{l1} = 1,0; \quad \psi_{t1} = 1,0; \quad \psi_{l2} = 1,0. \quad (3.2)$$

Asma fasad sistemləri üçün külək yükünün pik müsbət və mənfi təsirlərini nəzərə almaq lazımdır, bunların normativ qiymətləri aşağıdakı düstur ilə müəyyən edilir [7]:

$$\omega^{+(-)} = \omega_0 k(ze) [1 + \zeta(ze)] c_{p,+(-)} \gamma_{+(-)}, \quad (3.3)$$

burada:  $\omega_0$  - küləyin təzyiqinin normativ qiyməti, kPa;  $ze$  - ekvivalent hündürlük, m;

$k(ze)$  və  $\zeta(ze)$  -  $ze$  hündürlüyündə müvafiq olaraq, küləyin təzyiqinin və təzyiq pulsasiyasının dəyişməsinə nəzərə alan əmsallar;  $c_{p,+(-)}$  - müsbət (+) və ya azalma (-) təzyiqinin aerodinamik əmsalların pik qiymətləri;  $\gamma_{+(-)}$  - müsbət (+) və ya azalma (-) təzyiqinə uyğun gələn külək yükünün korrelyasiya (düzəliş) əmsallarıdır və külək yükünün toplandığı hasarın sahəsindən asılıdır.

Hesablama modelində 3 mərtəbəli binanın fasadının fraqmenti qəbul edilir,  $ze = 11$  m. B relyef növü - hündürlüyü 10 m-dən çox maneələrlə bərabər şəkildə örtülmüş şəhər əraziləri, meşələr və digər ərazilər qəbul edilir.

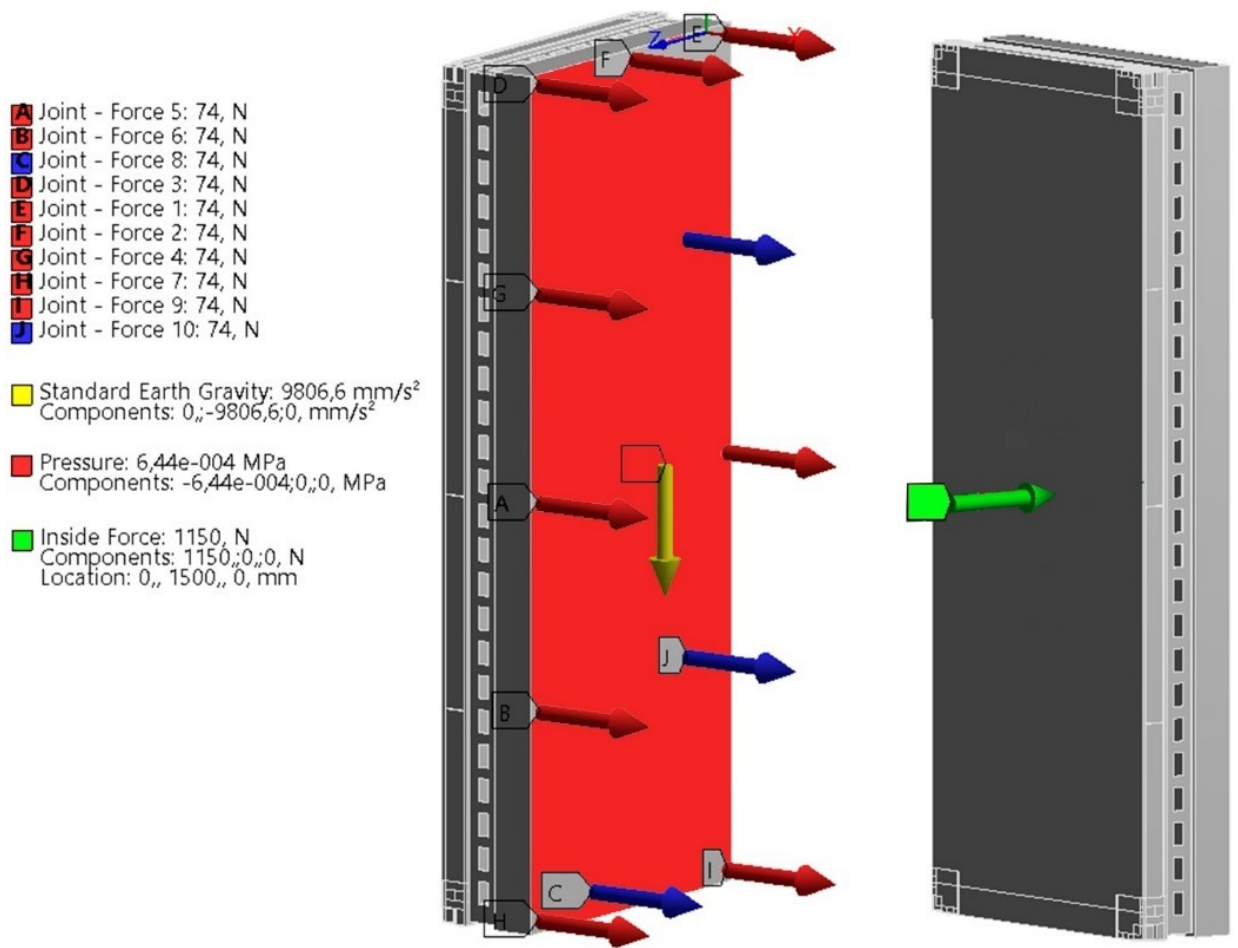
Hesablamada II külək bölgəsi (Lənkəran rayonu) nəzərə alınıb. Pik külək yükünün normativ qiymətləri qəbul edilmişdir:

$$\omega^+ = 0,46 \text{ kPa}, \quad \omega^- = -0,841 \text{ kPa}. \quad (3.4)$$

Binalar üçün örtüyə düşən üfüqi yüklərin normativ qiymətlər  $0,8 \text{ kN/m}$  qəbul edilməlidir. Paneli hesablamaq üçün panelin daxili səthindəki yükün panelin daxili səthinin mərkəzində tətbiq olunan  $1,15 \text{ kN}$ -ə bərabər konsentrasiya edildiyi qəbul edilir.

Yüklərin panelə düşmə sxemi şəkil 3.1-də göstərilmişdir. Hesablama modeli üçün yüklərin hesabi birləşmələrinin iki variantı qəbul edilmişdir (Cədvəl 3.1). Panel elementlərinin kütlələri cədvəl 3.2-də verilmişdir. Çoxqatlı fasad panelinin materiallarının xassələri cədvəl 3.3-də təqdim olunur.





Şəkil 3.1. Yüklərin panelə düşmə sxemi

Cədvəl 3.1

Yüklərin əlverişsiz birləşmələrinin iki variantı

	Sabit yük $P_d$ : Panelin çəkisi	Uzunmüddətli yük $P_l, \Psi_{l1}=1,0$	Qısamüddətli yük $P_{t1}$ : panelin daxili səthinə düşən üfüqi yük, $\Psi_{t1}=1,0$	Qısamüddətli yük $P_{t2}$ : küləyin yükünün pik qiymətləri, $\Psi_{t2}=1,0$
<b>Yüklərin birləşmələrinin 1 variantı</b>				
Yüklərin normativ qiymətləri		Hesabatda suyun udulması (3 kq/m <sup>2</sup> ) nəzərə alınmaqla istilik izolyasiyasının sıxlığı 140 kq/m <sup>3</sup> verilmişdir	0,8 kN/m x 1,2 m= =0,96 kN	$\omega^+ = 0,46 \text{ kPa}$
Yük üzrə etibarlılıq əmsalları $\gamma_f$	Metal konstruksiyalar üçün $\gamma_f = 1,05$		$\gamma_f = 1,2$	$\gamma_f = 1,4$
Yüklərin hesabi qiymətləri	313,032 kq		0,96 kN x 1,2= =1,15 kN	0,46 kPa x 1,4= =0,644 kPa

Yüklərin birləşmələrinin 2 variantı				
Yüklərin normativ qiymətləri		Hesabatda suyun udulması (3 kq/m <sup>2</sup> ) nəzərə alınmaqla istilik izolyasiyasının sıxlığı 140 kq/m <sup>3</sup> verilmişdir	0,8 kN/m x 1,2 m = 0,96 kN	ω = - 0,841 kPa
Yük üzrə etibarlılıq əmsalları $\gamma_f$	Metal konstruksiyalar üçün $\gamma_f = 1,05$		$\gamma_f = 1,2$	$\gamma_f = 1,4$
Yüklərin hesabi qiymətləri	313,032 kq		0,96 kN x 1,2 = 1,15 kN	-0,841 kPa x 1,4 = -1,177 kPa

Cədvəl 3.2

## Panel elementlərinin kütlələri

Element/qat	Sayı, ədəd	Həcmi, m <sup>3</sup>	Sıxlığı, kq/m <sup>3</sup>	Kütləsi, kq
aquapanel_s1 (Akvapanel, qat 1)	1	0,04478	1200	53,736
thermal_insulation_s2 (daxili istilik izolyasiyası, qat 2)	1	0,28287	140	39,602
aquapanel_s3 (Akvapanel, qat 3)	1	0,04479	1200	53,748
thermal_profiles (Termoprofillər)	1	0,00358	7850	28,103
mounting_element (Bərkidici elementlər)	4	0,00016	7850	5,024
perforated_frame_s4 (Perforasiya edilmiş şvellerlərdən çərçivə, qat 4, sendviç panelin bərkidilməsi üçün özükəsici vintlərin də kütləsi nəzərə alınmışdır)	1	0,00475	7850	37,288
aluminum_panel_s5 (aluminum list, qat 5)	1	0,00360	2770	9,972
thermal_insulation_s6 (Xarici istilik izolyasiyası, qat 6)	1	0,53991	140	75,587
aluminum_panel_s7 (aluminum list, qat 7)	1	0,00360	2770	9,972
<b>Cəmi:</b>				<b>313,032</b>

## Çoxqatlı fasad panelinin materiallarının xassələri

Xarakteristika, ölçü vahidi	Alüminium (ərinti ENAW-3005H46)	İstilik izolyasiyası-sendviç panel üçün alışmayan daş yun plitələr	Polad 08 PS XP (Şvellrdən çərçivə QOST 8240, panelin bərkidici elementləri, termoprofildən çərçivə)	Nəmliyə davamlı sement plitə
Möhkəmlik həddi $\sigma_v$ , <i>MPa</i>	185-240 (20°S)		290	10
Axma həddi $\sigma_t$ , <i>MPa</i>	160-210 (20°S)		175	
Elastiklik modulu, <i>E</i> , <i>MPa</i>	69 500	XY 5,6 YZ 5,6 XZ 5,6	2,06e+5	4 000
Puasson əmsalı	0,33	XY 0,2 YZ 0,2 XZ 0,2	0,3	0,1
Sıxlığı, <i>kq/m<sup>3</sup></i>	2 770	140 (suyun udulması nəzərə alınan hesabatda) 105 (QOST 32603-2012 uyğun olaraq minimum sıxlıq)	7850	1200
Həcmi elastiklik modulu, <i>MPa</i>	68 137		1,7167e+5	1 666,7
Kəşimə modulu, <i>u</i> , <i>MPa</i>	26 128	XY 2,5 YZ 2,5 XZ 2,5	79231	1 818,2
İzotrop istilik genişlənmə əmsalı, $1/^\circ\text{S}$	2,3e-5	0	1,2e-5	9,33e-6
Verilmiş uzun müddət ərzində nümunə qismən batırıldıqda suyun udulması, <i>kq/m<sup>2</sup></i>		3-dən çox deyil		

Panelin SOLIDWORKS modeli bəzi şərtlər qəbul edilməklə işlənilib hazırlanmışdır:

- İstilik profilləri bütöv kəsişməli şvellerlərlə qəbul edilmişdir (perforasiyasız);
- Panelin xarici təbəqəsi (sendviç panel) birləşdirici yivlər nəzərə alınmadan modelləşdirilmişdir (Z-lock);
- Panelin xarici təbəqəsinin dayaq çərçivəsinə bərkidilməsi üçün yivlər, başlıqlar və şaybalar olmadan modelləşdirilmişdir. Şayba alüminium təbəqənin xarici səthində (diametri 28 mm) quraşdırılmışdır;
- Bütün polad elementlər əyilmə radiusları olmadan  $90^\circ$  bucaq altında modelləşdirilmişdir;
- Sement lövhələrinin termoprofildən hazırlanan çərçivəyə və bərkidici elementlərə bərkidilməsi üçün özüəkəsic vintlər və termoprofildən hazırlanan çərçivənin bərkidici elementlərlə birləşdirən vintlər eskiz edilmiş kənarların kəsişmə nöqtələri ilə müəyyən edilir (ANSYS-də göstərilən birləşmələrin modelləşdirilməsi üçün).

Modeldə aşağıdakı qarşılıqlı əlaqələr təyin edilmişdir:

Sement plitələri və polad elementlər arasında (perforasiya edilmiş şvellerlər, bərkidicilər və istilik profillərindən hazırlanmış çərçivə) qarşılıqlı təsir sürtünmə əmsalı (friction coefficient) 0,45-ə bərabər olan “Frictional” (sürtünmə) tipli kontakt ilə verilmişdir;

- Polad elementlərin bir-biri arasında qarşılıqlı təsir (perforasiya edilmiş şvellerlər, bərkidicilər və istilik profilləri) sürtünmə əmsalı (friction coefficient) 0,15-ə bərabər olan “Frictional” (sürtünmə) tipli kontakt ilə müəyyən edilir;

- İstilik izolyasiyası və polad elementlər arasında qarşılıqlı təsir sürtünmə əmsalı (friction coefficient) 0,4-ə bərabər olan “Frictional” (sürtünmə) tipli kontakt ilə verilmişdir;

- Sement plitələrinin istilik profillərinə və bərkidici elementlərə bərkidilməsi, həmçinin istilik profillərin bərkidici elementlərə bərkidilməsi üçün özüəkəsic vintlər “Weld” nöqtə kontaktları ilə quraşdırılır;

- İstilik izolyasiyası və sement plitələri, istilik izolyasiyası və istilik profilləri arasında qarşılıqlı təsir bir-birinə yapışqan tərkiblə birləşdirilən “Bonded” kontakla müəyyən edilir;
- Bərkidici elementlər ilə perforasiya edilmiş şvellerlərdən hazırlanmış çərçivə arasındakı qaynaq şovu “Bonded” kontakla verilmişdir;
- Sendviç panelin alüminium təbəqəsi ilə perforasiya edilmiş şvellerlərdən hazırlanmış çərçivə arasındakı qarşılıqlı təsir sürtünmə əmsalı (friction coefficient) 0,5-ə bərabər olan “Frictional” (sürtünmə) tipli kontakt ilə verilmişdir;
- Sendviç-panelin perforasiya edilmiş şvellerlərdən hazırlanmış çərçivəyə bərkidilməsi üçün vintlər “Body-Body” birləşmə növü ilə “Cylindrical” tipli “Joints” (menteşələr) kontaktı ilə verilmişdir.

Əvvəlcə sendviç panelin 6 vintdən istifadə edərək dəstəkləyici çərçivəyə bərkidilməsi nəzərdə tutulmuşdu. Maksimum yerdəyişmələr 5 mm-dən çox idi ki, bu da konstruksiyanın verilmiş hündürlüyü üçün məqbuldur (Şəkil 3.2), lakin alüminium təbəqədəki maksimum gərginliklər şaybaların olduğu sahədəki yüklərin uyğunluğunun ikinci variantında əhəmiyyətli dərəcədə qoyulan həddini aşmışdır (Şəkil 3.3).

Bərkidici elementlərin lazım olan sayını və şaybanın diametrini müəyyən etmək üçün sınaq iterasiya hesablaması aparılmışdır. Özükəsici vintlərinin lazımı sayı və yeri hesablama ilə müəyyən edilmişdir.

Vintin əvvəlcədən gərginliyi yerdəyişmədən (-0,2 mm) istifadə edərək təyin edilmişdir. Sendviç panelin sıxılması zamanı alüminium təbəqənin vintin başlığından qopma ehtimalı baxımından hesablamanın düzgünlüyünü təmin etmək üçün “Cylindrical” özükəsici vintlərdə yerdəyişmənin sərhəd şərtləri bütün özükəsici vintlər üçün ayrıca hesablama ilə müəyyən edilmiş müvafiq qüvvələrlə (güclərlə) əvəz olunmuş və nəticələri cədvəl 3.4-də göstərilmişdir. Oxboyu qüvvənin maksimum qiyməti 73,9 N təşkil edir. Sonrakı hesablamalarda oxboyu qüvvənin maksimum qiyməti bütün birləşmələr üçün 74 N qəbul edilmişdir. Özükəsici vintlərin (şarnirlərin) nömrələnməsi şəkil 3.4-də göstərilmişdir.

**F: Copy of Preload**

Total Deformation

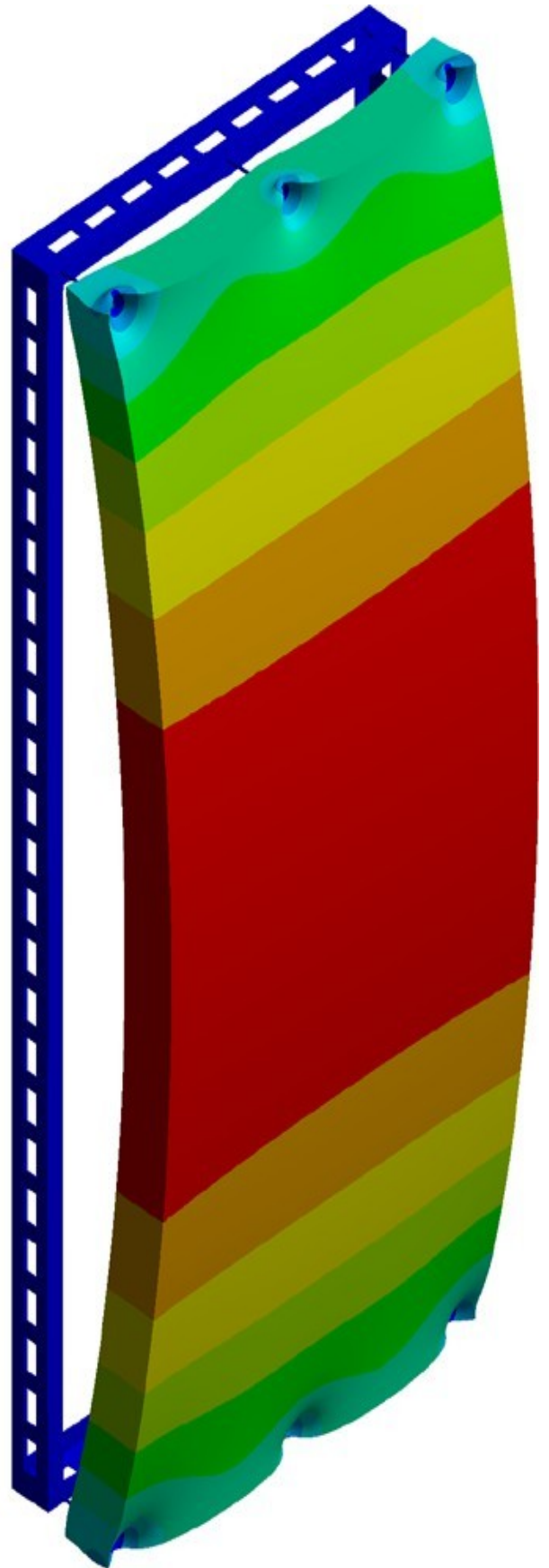
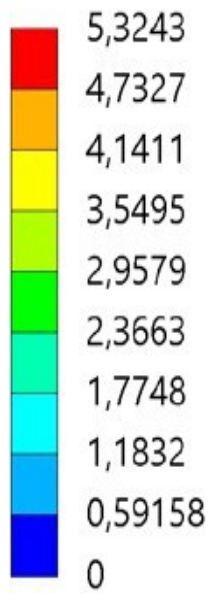
Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

Max: 5,3243

Min: 0



Şəkil 3.2. 6 vintlə bərkidilmiş çoxqatlı fasad panelinin (sendviç panel) xarici təbəqəsinin deformasiyası

### F: Copy of Preload

Equivalent Stress All

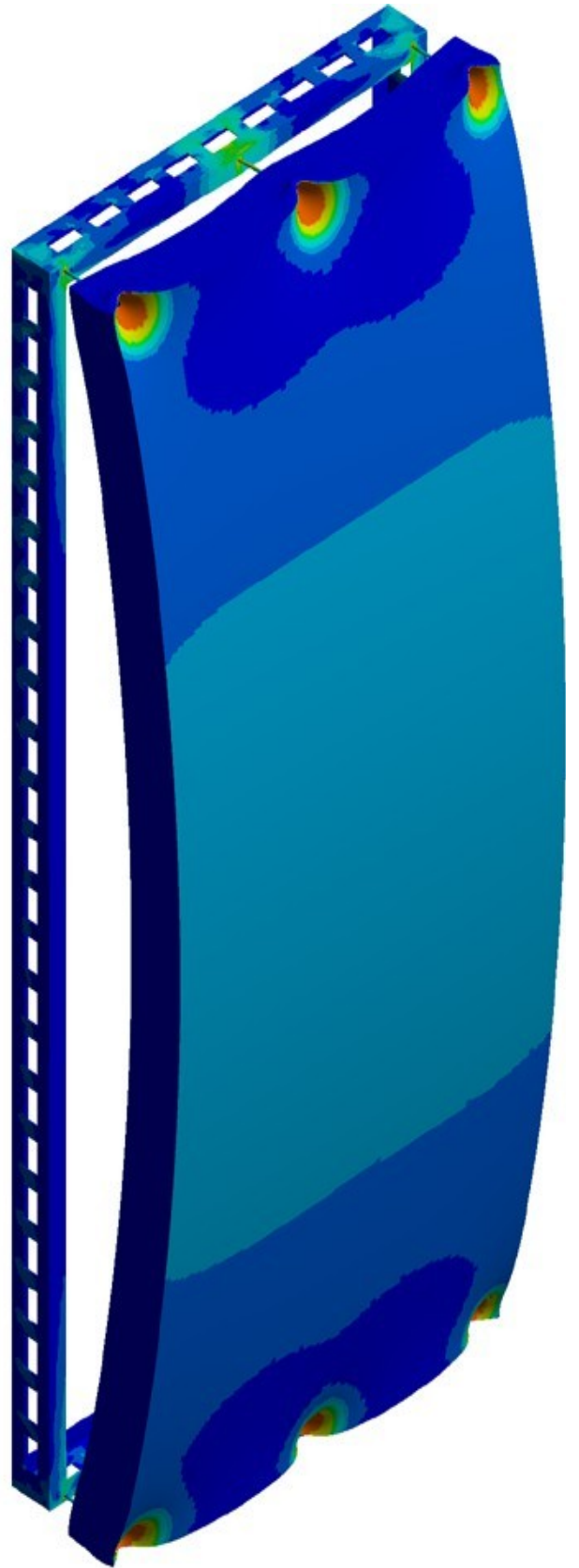
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

Max: 421,21

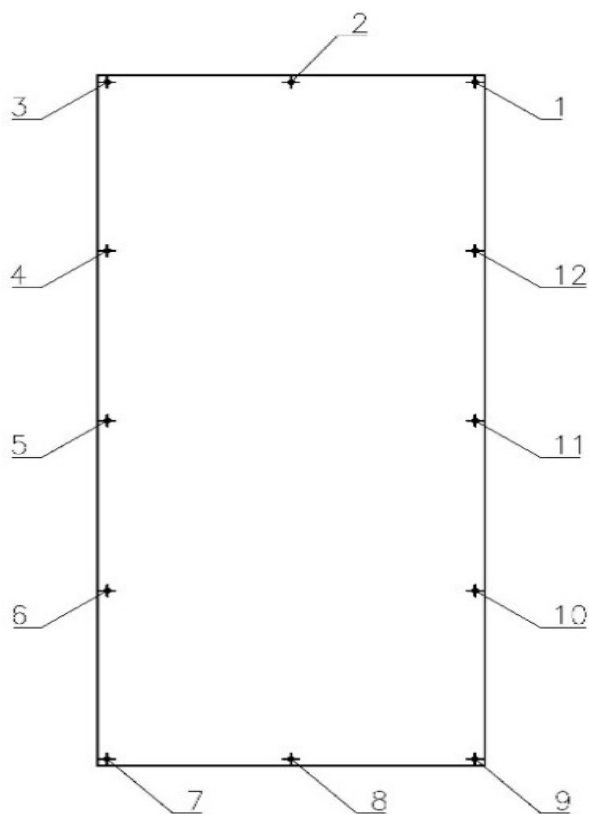
Min: 3,1691e-5



Şəkil 3.3. 6 vintlə bərkidilmiş çoxqatlı fasad panelinin (sendviç panel) xarici təbəqəsində gərginliklər

Vintlü birləşməsinin əvvəlcədən gərginliyi (-0,2 mm) nəticəsində  
yaranan oxboyu qüvvələrin qiymətləri

Özükəsici vintlərin nömrələnməsi	Birləşmədə oxboyu qüvvə, $N$
1	64,4
2	72,7
3	64,6
4	72,5
5	73,1
6	73,7
7	64,5
8	73,4
9	64,7
10	73,9
11	73,0
12	72,5





Şəkil 3.4. Çoxqatlı fasad panelinin özükəsici vintlərinin nömrələnməsi  
(fasaddan görünüş)

Hesablama modeli “Body-Ground” birləşmə növünə malik “General” tipli “Joint” özükəsici vintlərdən (menteşələrdən) istifadə etməklə həyata keçirilmişdir. Aşağı sol bərkidici elementin dəstəkləyici elementlə birləşdirilməsi üç ayrı özükəsici vintlə (menteşə ilə) həyata keçirilir, onların hər biri bərkidici elementin müvafiq kontrol səthinə qoşulur və hər bir menteşə yerdəyişmə sərbəstliyinin fiksasiyasını təmin edir; bütün hallarda sərbəst fırlanma dərəcələrinə icazə verilir [8].

Aşağı sağ bərkidici elementin dayaq elementi ilə birləşdirilməsi iki ayrı özükəsici vintlə (menteşə ilə) həyata keçirilir, onların hər biri bərkidici elementin müvafiq kontrol (idarəetmə) səthinə qoşulur və hər bir menteşə hərəkətin sərbəstliyinin fiksasiyasını təmin edir ( $Z$  oxu boyunca hərəkətin sərbəstliyinə icazə verilir); bütün hallarda fırlanmanın sərbəstlik dərəcələrinə icazə verilir.

Üst sol bərkidici elementin dəstəkləyici elementlə əlaqəsi  $X$  oxu boyunca hərəkət dərəcəsini məhdudlaşdıran bir menteşə ilə həyata keçirilir; fırlanma sərbəstliyi dərəcələrinə icazə verilir. Üst sağ bağlayıcının dəstək elementi ilə əlaqəsi oxşar şəkildə müəyyən edilir.

Model şəbəkəsi tetraedrlər (Tetrahedrons) və paralelepipedlər (Quad/Tri) formasına malik olan elementlərlə üçölçülü hazırlanır. Element minimum ölçüsü  $1,0 \text{ mm}$ , maksimum ölçüsü  $60,0 \text{ mm}$ -dir. Çoxqatlı fasad paneli modelinin şəbəkə qovşaqlarının ümumi sayı 2264453 (Nodes), elementlərin – 624344 (Elements) təşkil edir.

Paneldəki maksimum gərginliklər 2 №-li yük birləşməsi variantı üçün əldə edilmişdir. Verilmiş hesabat üçün panelin gərginliyinin paylanması şəkil 3.5-də göstərilmişdir.

Şəkil 3.6-da 2 №-li yük birləşməsi variantı üçün çoxqatlı fasad panelinin xarici alüminium təbəqəsində özükəsici vintlərin şaybalarının ətrafında yaranan gərginlik konsentratörünü göstərilmişdir. Bu zaman alüminium ərintisinin axıcılıq gücü üzrə hesabi müqavimətini aşan gərginliklər yaranır:

$$\sigma_{max}=171,88 \text{ MPa} > R_y=160 \text{ MPa} \quad (3.5)$$

**B: Wind minus**

Equivalent Stress\_All

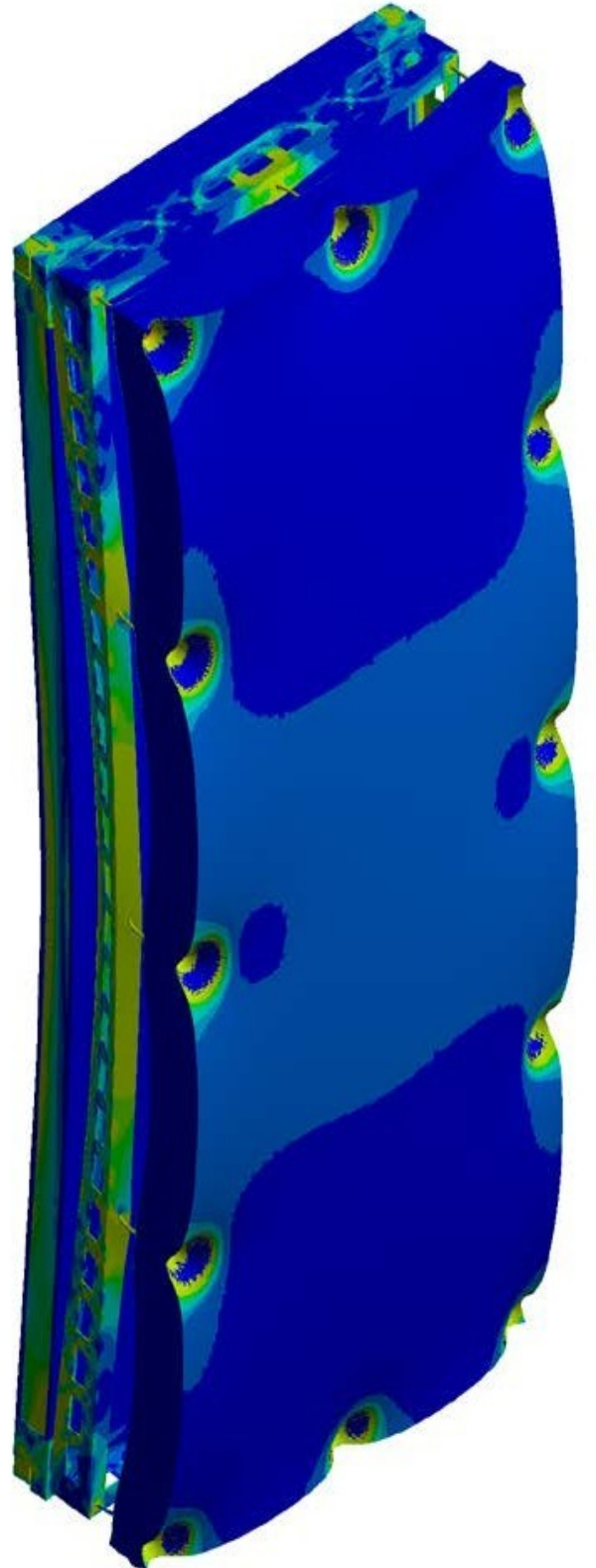
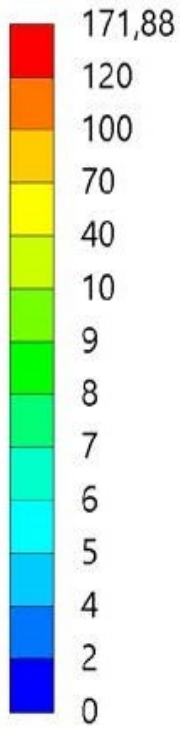
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

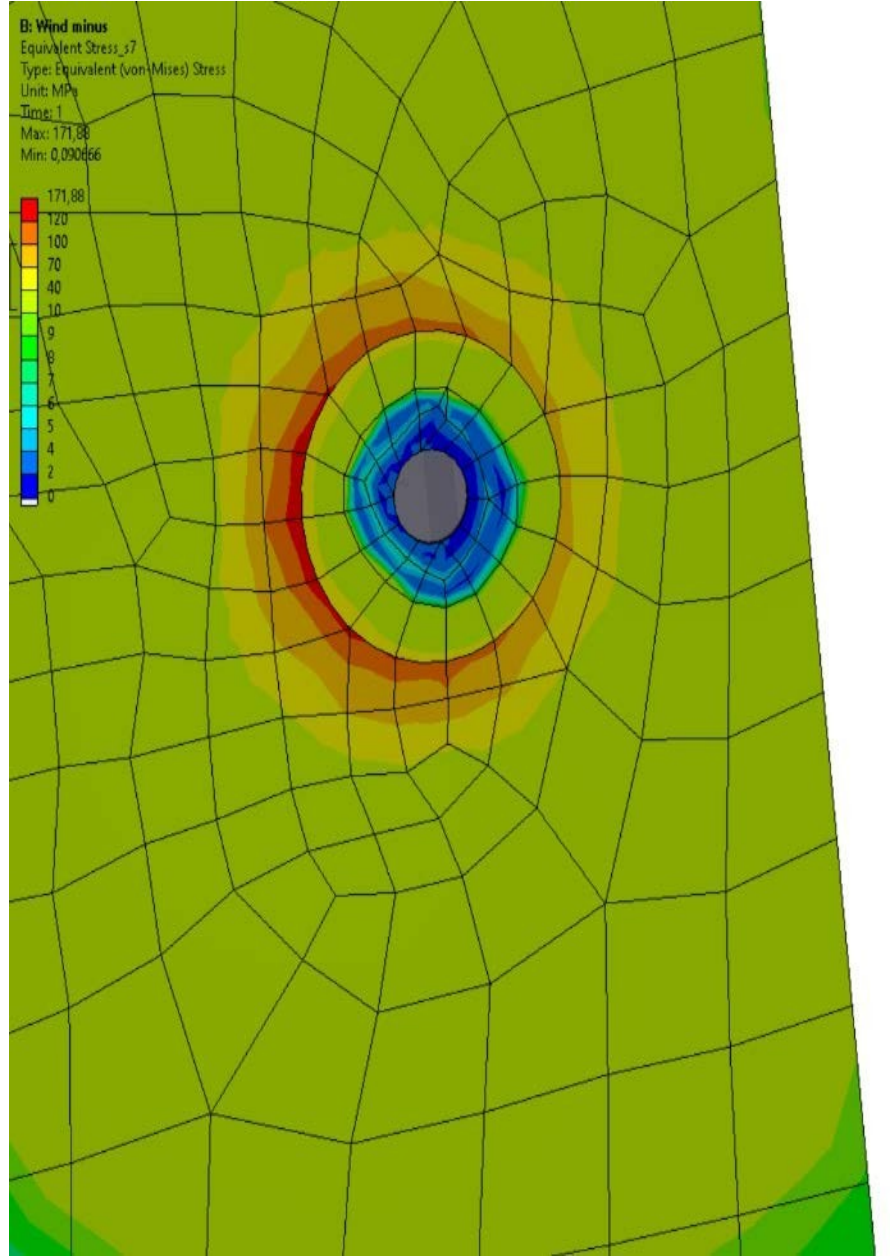
Time: 1

Max: 171,88

Min: 7,6366e-7



Şəkil 3.5. 2 №-li yük birləşməsi variantı üçün çoxqatlı fasad panelində gərginliklərin paylanması



Şəkil 3.6. 2 №-li yük birləşməsi variantı üçün çoxqatlı fasad panelinin xarici alüminium təbəqəsində (qat 7) özüəkəsici vintlərin şaybalarının ətrafında gərginliklərin paylanması

Gərginlik konsentratorlarının meydana gəlməsinin qarşısını almaq üçün EPDM araqları quraşdırmaq lazımdır.

Çoxqatlı fasad panelinin əyilmələri yükləmə üzrə etibarlılıq əmsalı  $\gamma_f$  nəzərə alınmaqla hesablanmış yük qiymətlərində maksimal deformasiyalardan çox deyil (Şəkil 3.7).

**B: Wind minus**

Total Deformation\_All

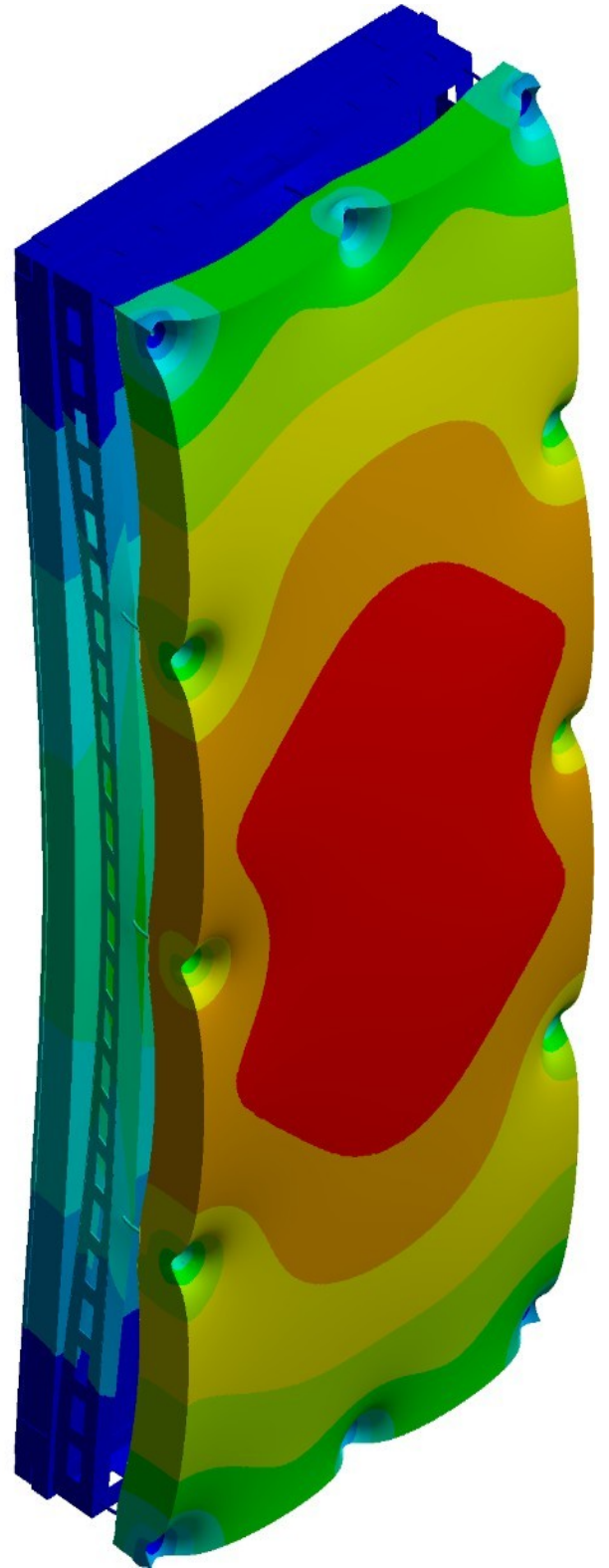
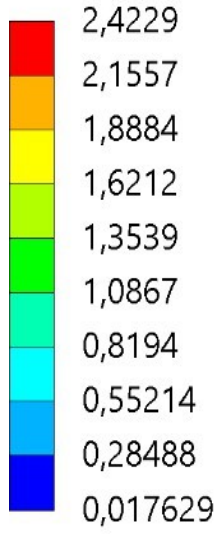
Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

Max: 2,4229

Min: 0,017629



Şəkil 3.7. 2 №-li yük birləşməsi variantı üçün çoxqatlı fasad panelinin deformasiyaları

Çoxqatlı fasad panelinin binanın çərçivəsinə elastik bərkidilməsi ilə çoxmərtəbəli binaların bir mərtəbəsi həddində panellərdən hazırlanmış divarların yerdəyişmələri  $f_u$  aşağıdakı kimi olmalıdır:

$$f_u = h_s / 300, \quad (3.6)$$

burada  $h_s$  - binalarda panel hündürlüyünə bərabər olan mərtəbənin hündürlüyü, *mm*.

Çoxqatlı fasad panelində yerdəyişmələr aşağıdakı kimi olmalıdır:

$$f_u = 3000 / 300 = 10 \text{ mm}. \quad (3.7)$$

Çoxqatlı fasad panelində maksimal yerdəyişmələr

$$f = 2,42 \text{ mm} \quad f_u = 10 \text{ mm}. \quad (3.8)$$

Paneldəki maksimal yerdəyişmələr az olduğundan, panelin əyilmələri və deformasiyaları üçün normativ yüklər üzrə hesablamalar aparılmadı. Şəkillər 3.8-3.16-da panelin ayrı-ayrı elementlərində panel gərginliklərinin paylanma sahələri göstərilmişdir.

Daşıyıcı polad elementlərdə əldə edilən maksimal gərginliklər hesablanmış müqavimətlər ilə müqayisə edilir:

$$\sigma_{max} R_v, \quad R_v = R_{vn} / \gamma_m. \quad (3.9)$$

Dartılma, sıxılma və əyilmə zamanı əyilmiş profillər üçün hesablanmış müqavimətlər [9]-a uyğun olaraq qəbul edilmişdir. Əyilmiş profillər üçün, onların xassələrinin statistik nəzarət proseduru zamanı, material üzrə etibarlılıq əmsalı aşağıdakı kimi qəbul edilmişdir:

$$\gamma_m = 1,025. \quad (3.10)$$

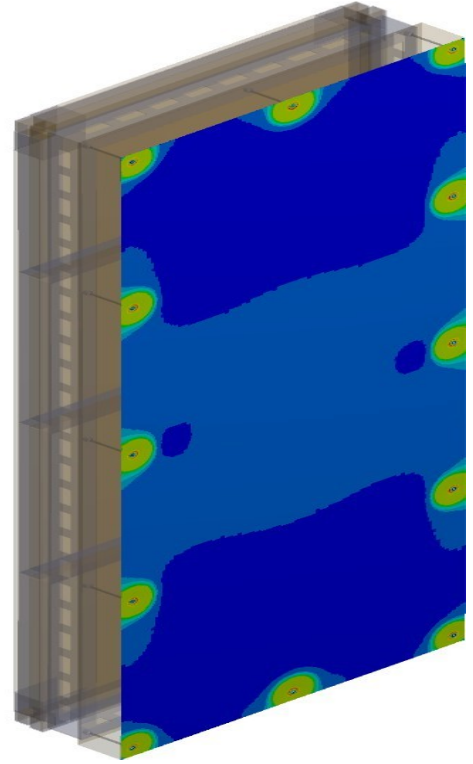
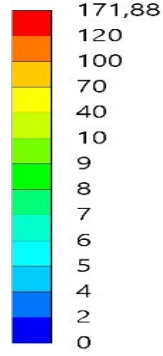
Çoxqatlı fasad panelinin polad elementlərində alınmış gərginliklərin maksimal qiymətləri hesablanmış müqavimət qiymətlərindən azdır:

$$\sigma_{max} = 144,53 \text{ MPa} \quad R_y = 175 \text{ MPa} / 1,025 = 170 \text{ MPa}. \quad (3.11)$$

1 №-li yük birləşməsi variantı üçün maksimal gərginliklər 38,86 *MPa*, maksimal yerdəyişmələr 0,48 *mm* təşkil edir.

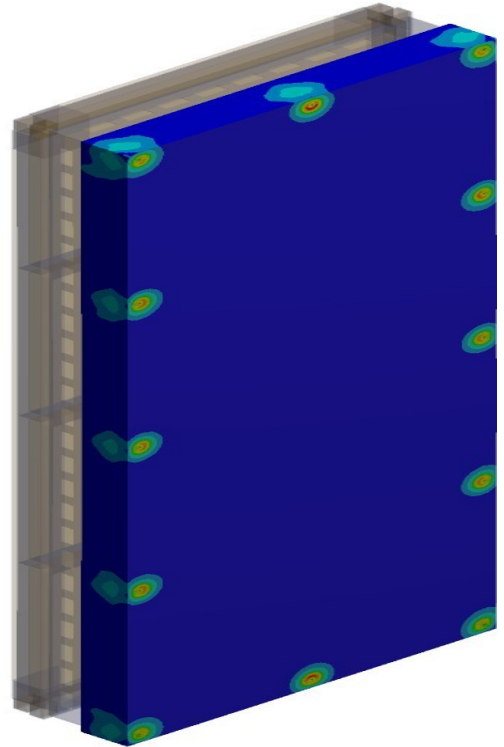
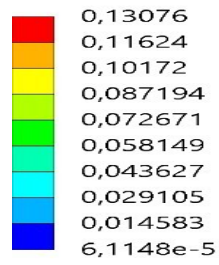
1 №-li yük birləşməsi variantı üçün panelin gərginliklərinin paylanması şəkil 3.17-də, panelin deformasiyaları isə şəkil 3.18-də göstərilmişdir [10].

**B: Wind minus**  
Equivalent Stress\_s7  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 171,88  
Min: 0,090666



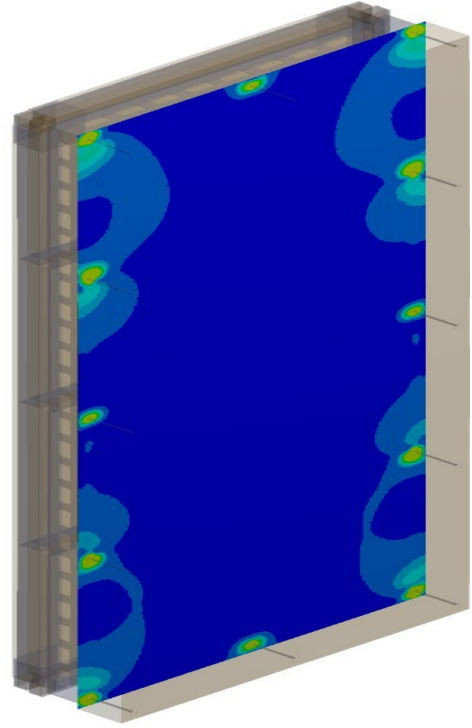
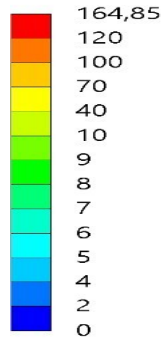
Şəkil 3.8. 2 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 171,88 \text{ MPa}$ ) üçün çoxqatlı fasad panelinin xarici alüminium təbəqəsində (qat 7) gərginliklərin paylanması

**B: Wind minus**  
Equivalent Stress\_s6  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 0,13076  
Min: 6,1148e-5



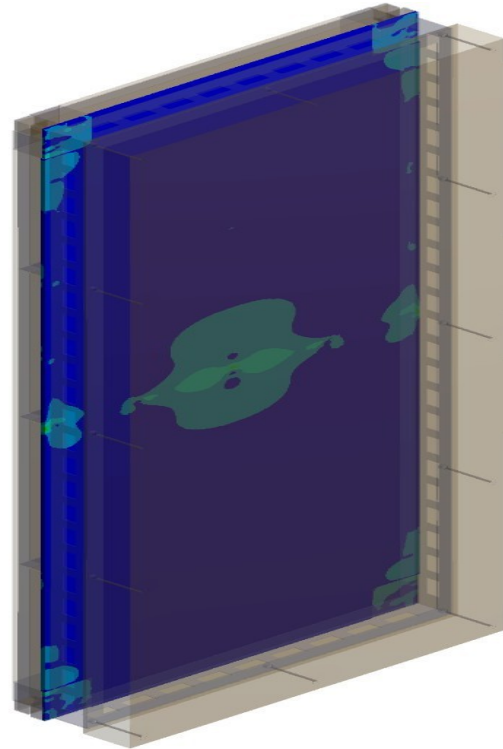
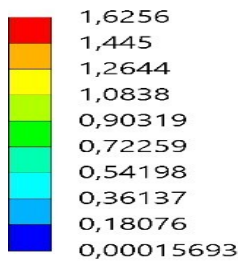
Şəkil 3.9. 2 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 0,13 \text{ MPa}$ ) üçün çoxqatlı fasad panelinin xarici istilik izolyasiyasında (qat 6) gərginliklərin paylanması

**B: Wind minus**  
Equivalent Stress\_s5  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 164,85  
Min: 0,0023355



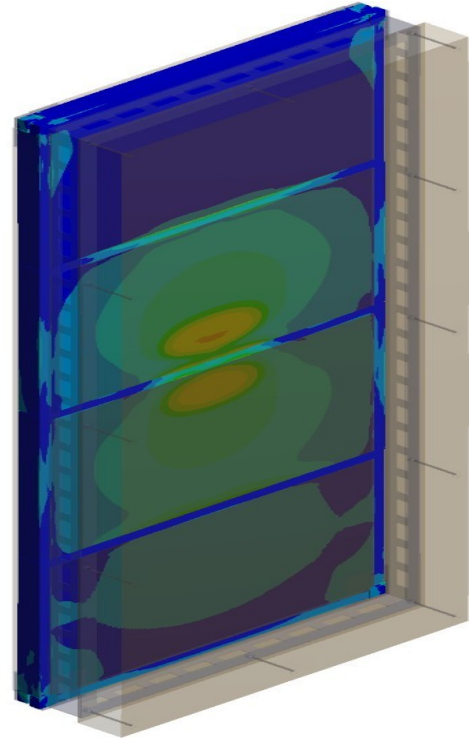
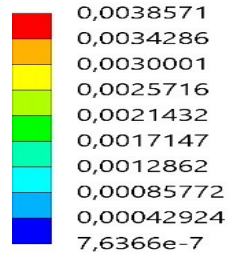
Şəkil 3.10. 2 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 164,85 \text{ MPa}$ ) üçün çoxqatlı fasad panelinin daxili alüminium təbəqəsində (qat 5) gərginliklərin paylanması

**B: Wind minus**  
Equivalent Stress\_s3  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 1,6256  
Min: 0,00015693



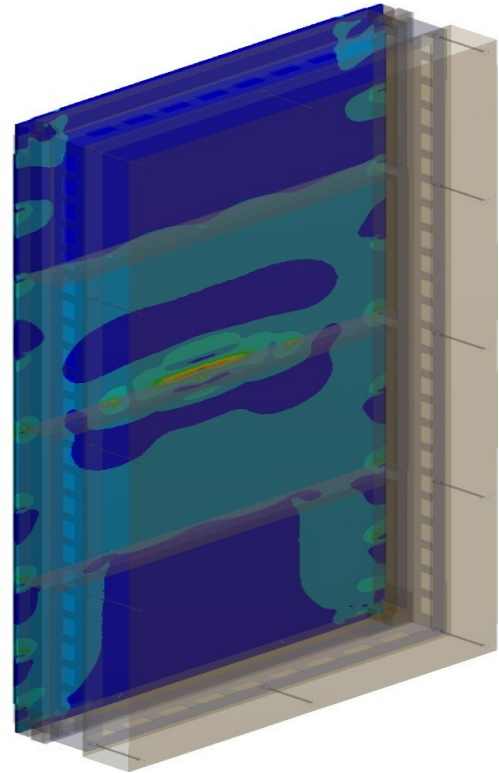
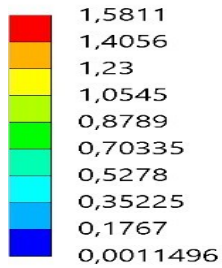
Şəkil 3.11. 2 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 1,63 \text{ MPa}$ ) üçün çoxqatlı fasad panelinin sement plitəsində (qat 3) gərginliklərin paylanması

**B: Wind minus**  
Equivalent Stress\_s2  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 0,0038571  
Min: 7,6366e-7



Şəkil 3.12. 2 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 0,004 MPa$ ) üçün çoxqatlı fasad panelinin daxili istilik izolyasiyasında (qat 2) gərginliklərin paylanması

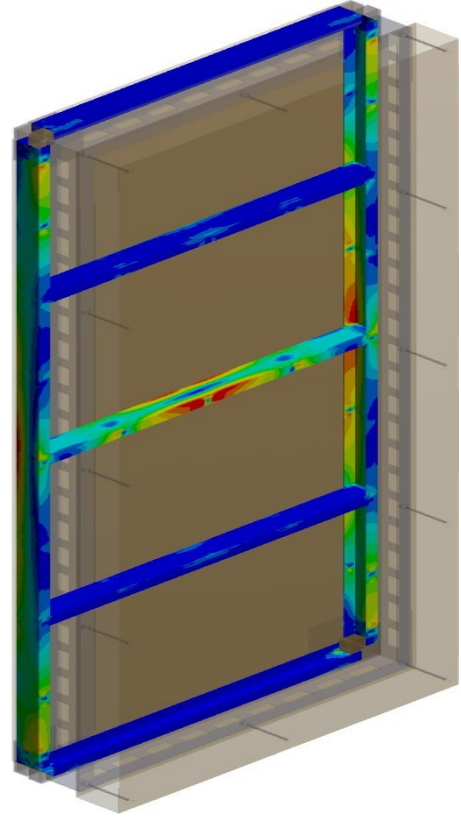
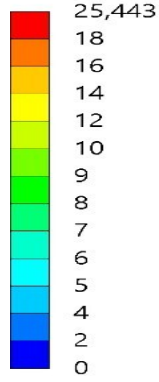
**B: Wind minus**  
Equivalent Stress\_s1  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 1,5811  
Min: 0,0011496



Şəkil 3.13. 2 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 1,63 MPa$ ) üçün çoxqatlı fasad panelinin sement plitəsində (qat 1) gərginliklərin paylanması

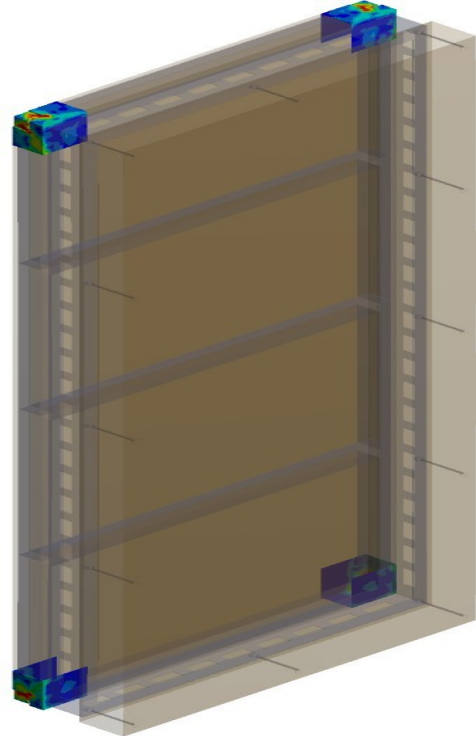
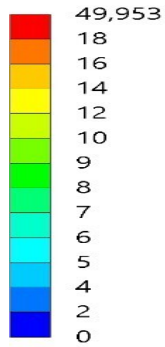


**B: Wind minus**  
Equivalent Stress\_tp  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 25,443  
Min: 0,018178



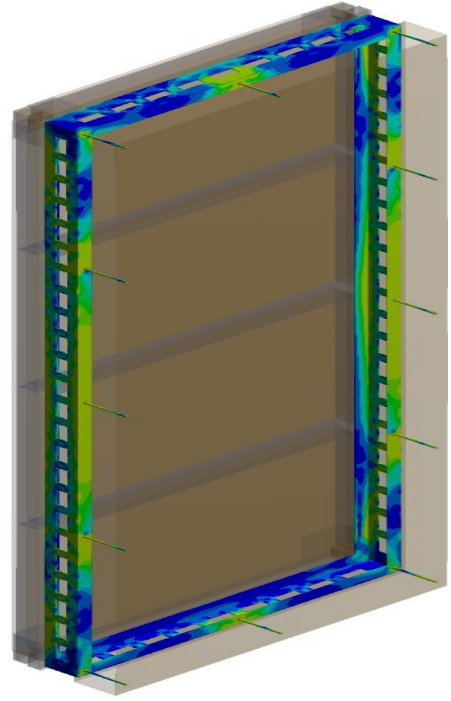
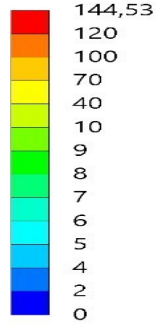
Şəkil 3.14. 2 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 25,44 \text{ MPa}$ ) üçün çoxqatlı fasad panelinin istilik profillərindən olan çərçivədə gərginliklərin paylanması

**B: Wind minus**  
Equivalent Stress\_me  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 49,953  
Min: 0,010402



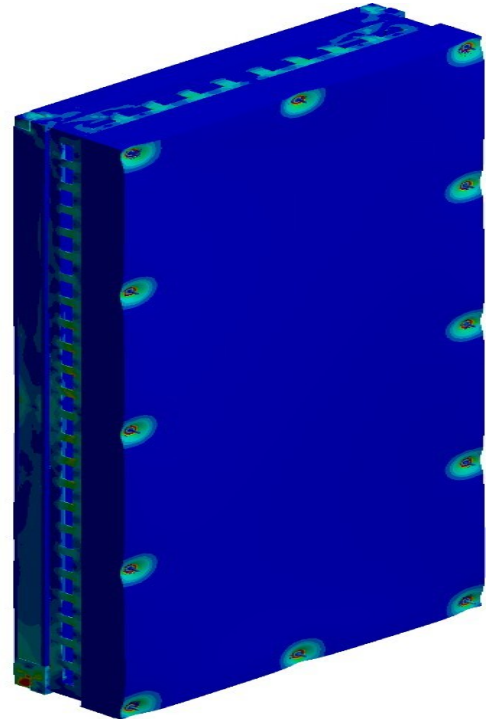
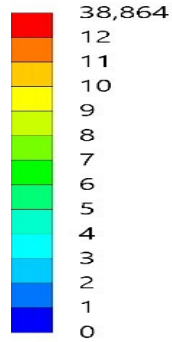
Şəkil 3.15. 2 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 49,95 \text{ MPa}$ ) üçün çoxqatlı fasad panelinin istilik bərkidici elementlərində gərginliklərin paylanması

**B: Wind minus**  
Equivalent Stress\_s4  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 144,53  
Min: 0,042503



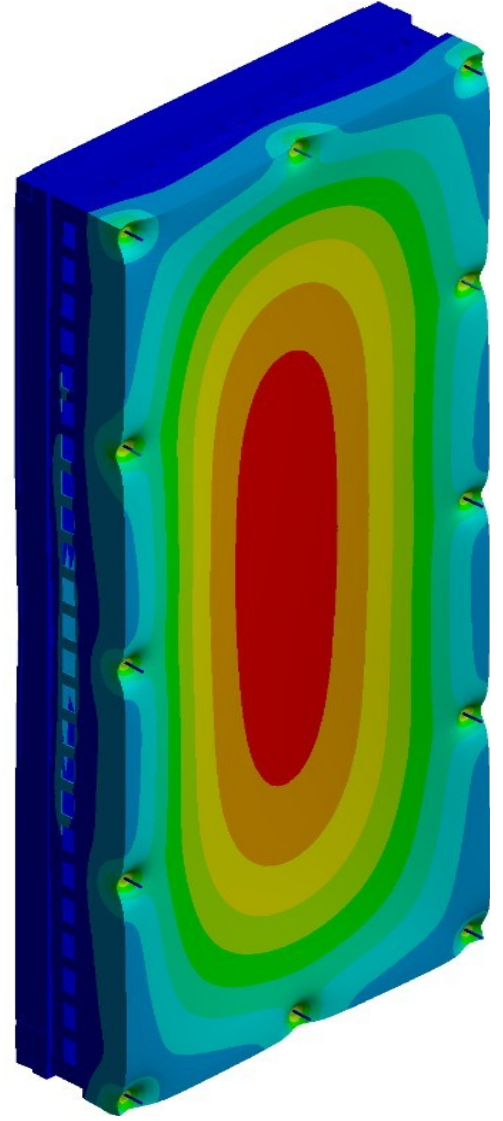
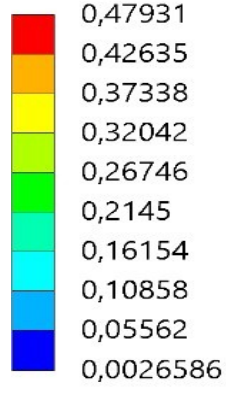
Şəkil 3.16. 2 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 144,53 \text{ MPa}$ ) üçün perforasiyalı profillərdən hazırlanmış daşıyıcı çərçivədə gərginliklərin paylanması

**C: Wind plus**  
Equivalent Stress\_All  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
Max: 38,864  
Min: 6,8849e-7



Şəkil 3.17. 1 №-li yük birləşməsi variantı ( $\sigma_{max} = 38,86 \text{ MPa}$ ) üçün çoxqatlı fasad panelində gərginliklərin paylanması

**C: Wind plus**  
Total Deformation\_All  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
Max: 0,47931  
Min: 0,0026586



Şəkil 3.18. 1 №-li yük birləşməsi variantı üçün çoxqatlı fasad panelində deformasiyalar

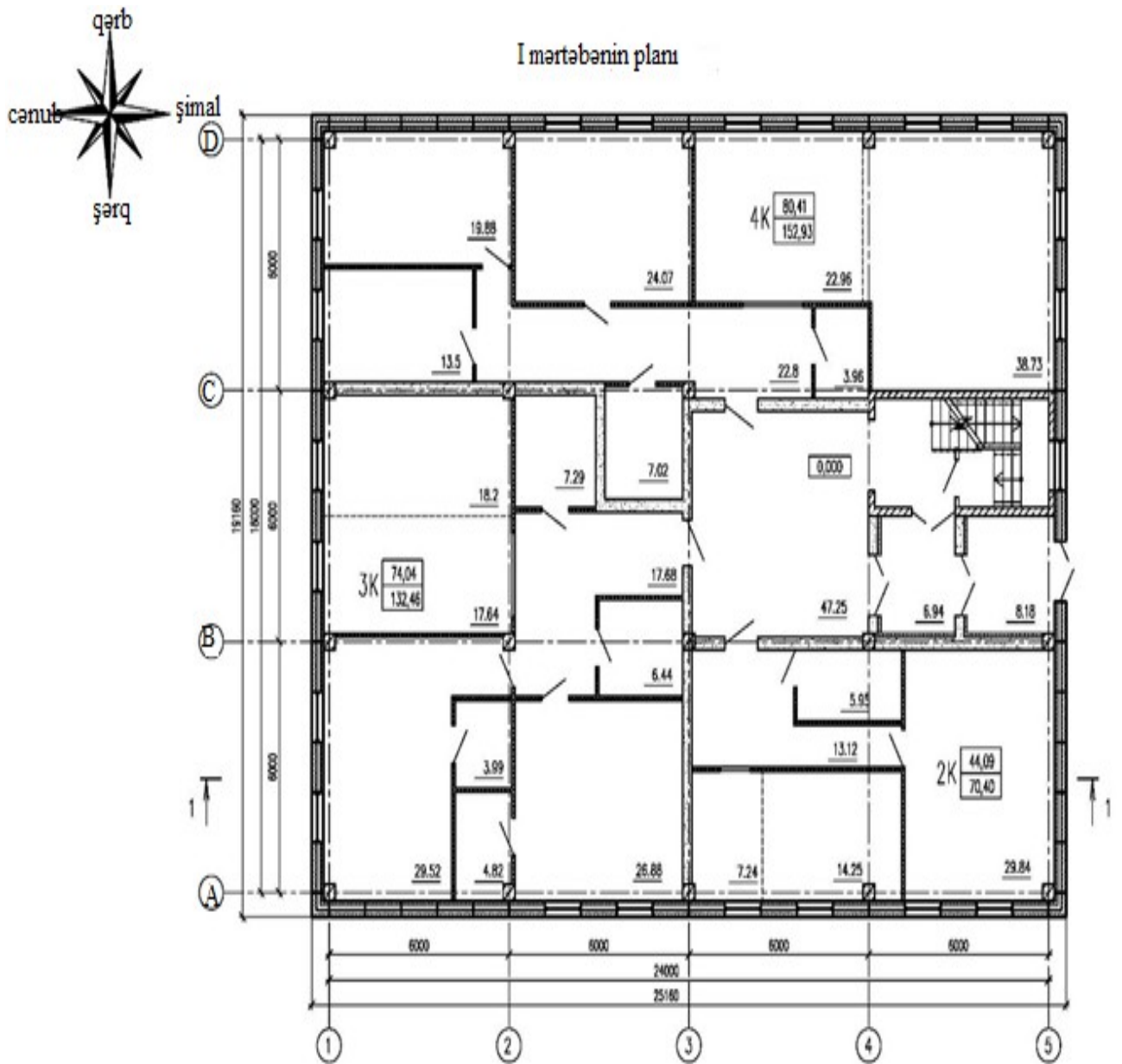
### 3.2. Çoxqatlı fasad panelinin istilik texniki hesabının metodikası və nəticələri

İstilik texniki hesablamaları və çoxqatlı fasad panelinin optimal parametrlərinin seçilməsi ANSYS proqram paketindən istifadə etməklə aparılmışdır.

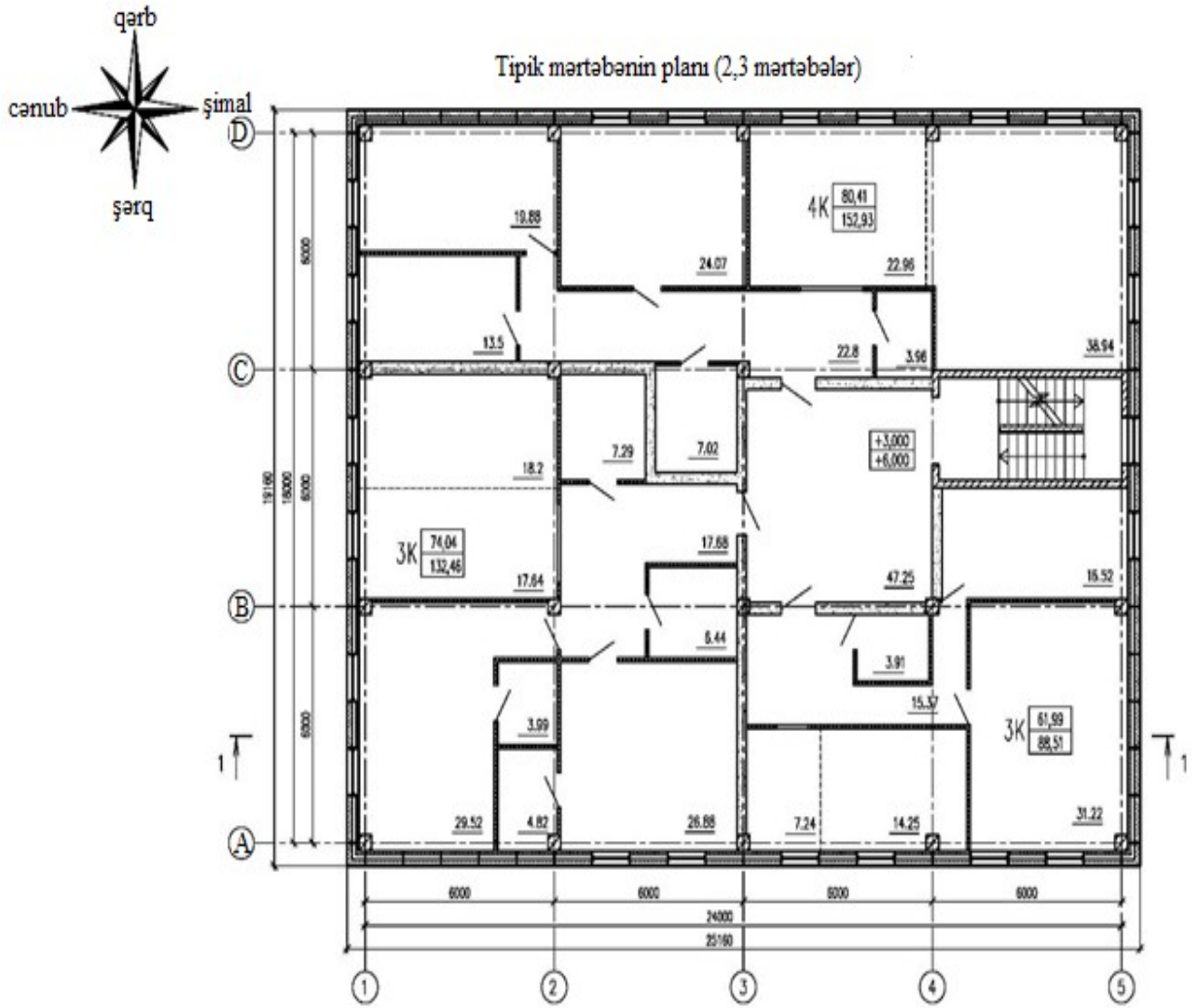
Metodikanın aprobeşiyası üç mərtəbəli yaşayış binasının nümunəsində sınaqdan keçirilmişdir.

#### 3.2.1. Binanın verilmiş parametrləri

Planda binanın oxboyu ölçüləri 18x24 m-dir. Şəkil 3.19-3.20-də müvafiq olaraq birinci və tipik mərtəbənin planları göstərilmişdir.



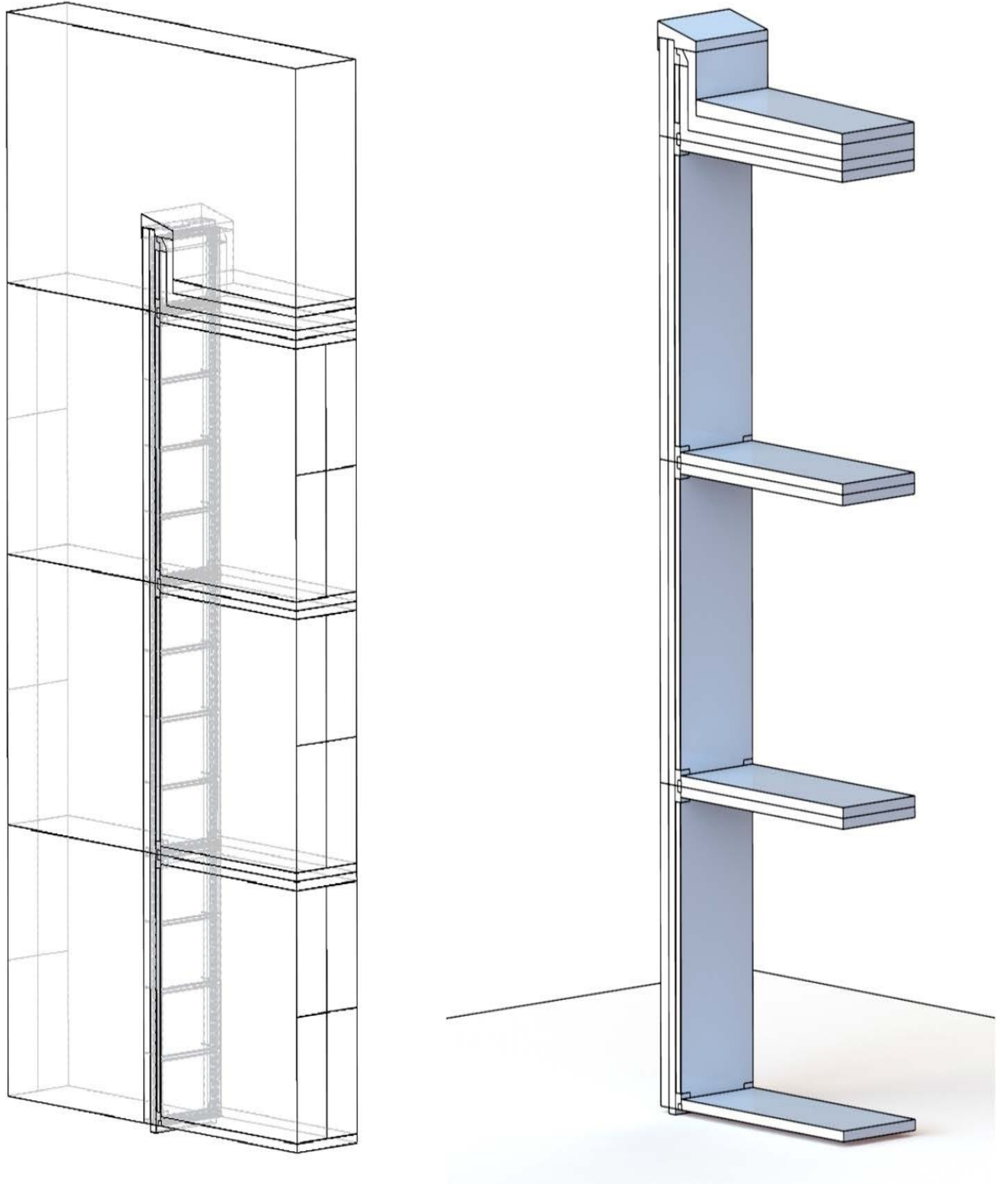
Şəkil 3.19. I mərtəbənin planı



Şəkil 3.20. Tipik mərtəbənin planı

1-1 kəsiyində (Şəkil 3.21) binanın ventilyasiya (havalandırma) sisteminin işinin sxemi göstərilmişdir. Ətraf mühətdən soyuq hava alınır, sonra bu hava torpaq istilik dəyişdiricidən keçir; oradan torpaqla qızdırılan hava, istilik rekuperasiyalı və quraşdırılmış istilik nasosu ilə təchiz edilmiş sorucu-vurucu ventilyasiya (havalandırma) qurğusuna daxil olur, burada daxil olan hava lazımi temperatura (20-22°S) qədər qızdırılır. Otaqdan çıxan hava əvvəlcə istilik rekuperasiyalı ventilyasiya qurğusundan keçir, sonra kondensasiya quruducusuna daxil olur, bundan sonra temperaturun bir qədər artması ilə (4-5°S) çoxqatlı fasad panelinin ventilyasiya boşluğunun aşağı hissəsindəki paylanma qabına daxil olur. Xaric olunan havanın ventilyasiya boşluğundan buraxılması panelin parapet hissəsində baş verir. Fasadın cənub hissəsində D-A oxu boyu nazik təbəqəli fotoelektrik çeviricilər (günəş batareyaları) quraşdırılmışdır.





Şəkil 3.22. SOLIDWORKS modeli

Zirzəmi və örtük konstruksiyası tərəfindən izolyasiya divarların səthlərindəki sərhəd şərtləri vasitəsilə verilmişdir (wall/shell condition):

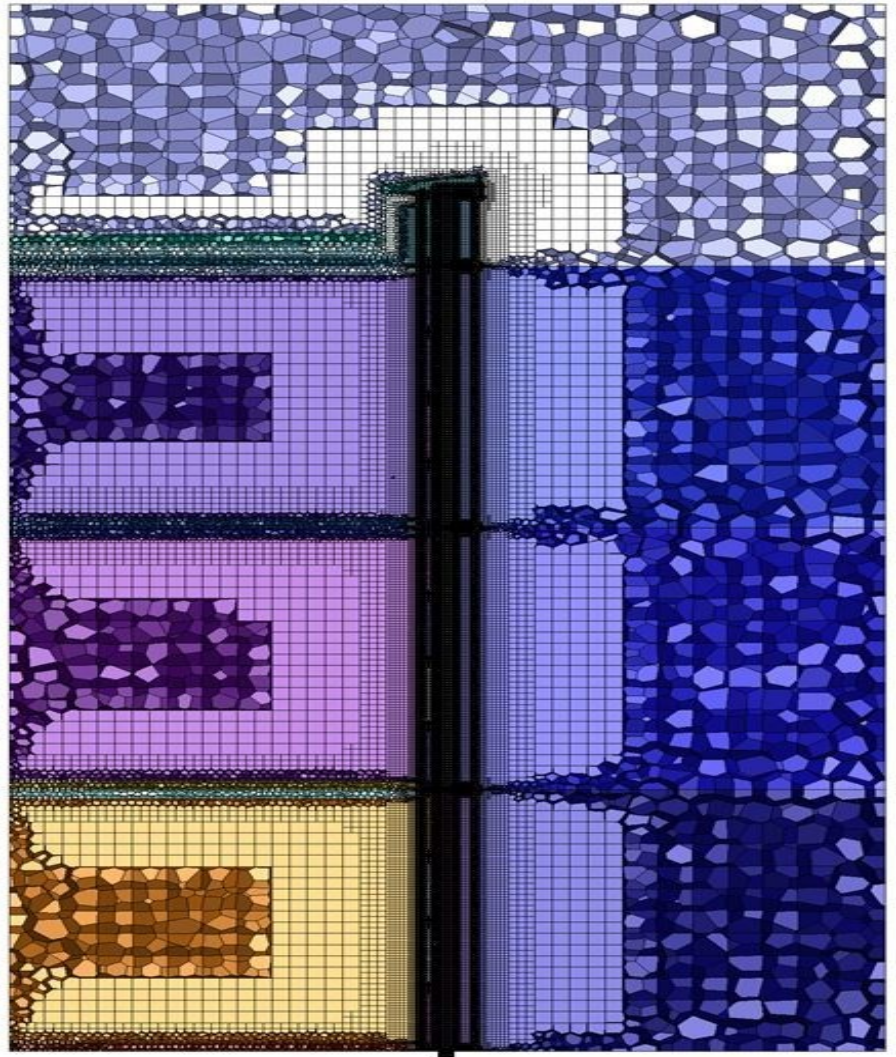
- Örtük şərti olaraq 0,3 m qalınlığında gil (keramzit) ilə doldurulmuşdur;
- Paylayıcı lövbərin və panelin alt səthinin izolyasiyası 0,2 m qalınlığında mineral yun izolyasiyası ilə yerinə yetirilmişdir. Zirzəminin üstündə olan döşəmə plitəsinin dibi boyunca 0,1 m qalınlığında izolyasiya quraşdırılmışdır;
- Zirzəminin üstündə olan döşəmə plitəsinin ortasına uyğun olan

$T_{middle\_rfc}$  modelinin alt səthinin temperaturu (plitənin qalınlığı  $200\text{ mm}$ , aşağıdan istilik izolyasiyası  $100\text{ mm}$ ) aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$T_{middle} = T_{inlet} - 0,058515 \cdot (T_{inlet} - T_{average}) \quad (3.12)$$

- Çoxqatlı fasad panelinin boşluğuna girişdəki temperatur sabit və  $25^{\circ}\text{S}$ -yə bərabər olduğu qəbul edilir.

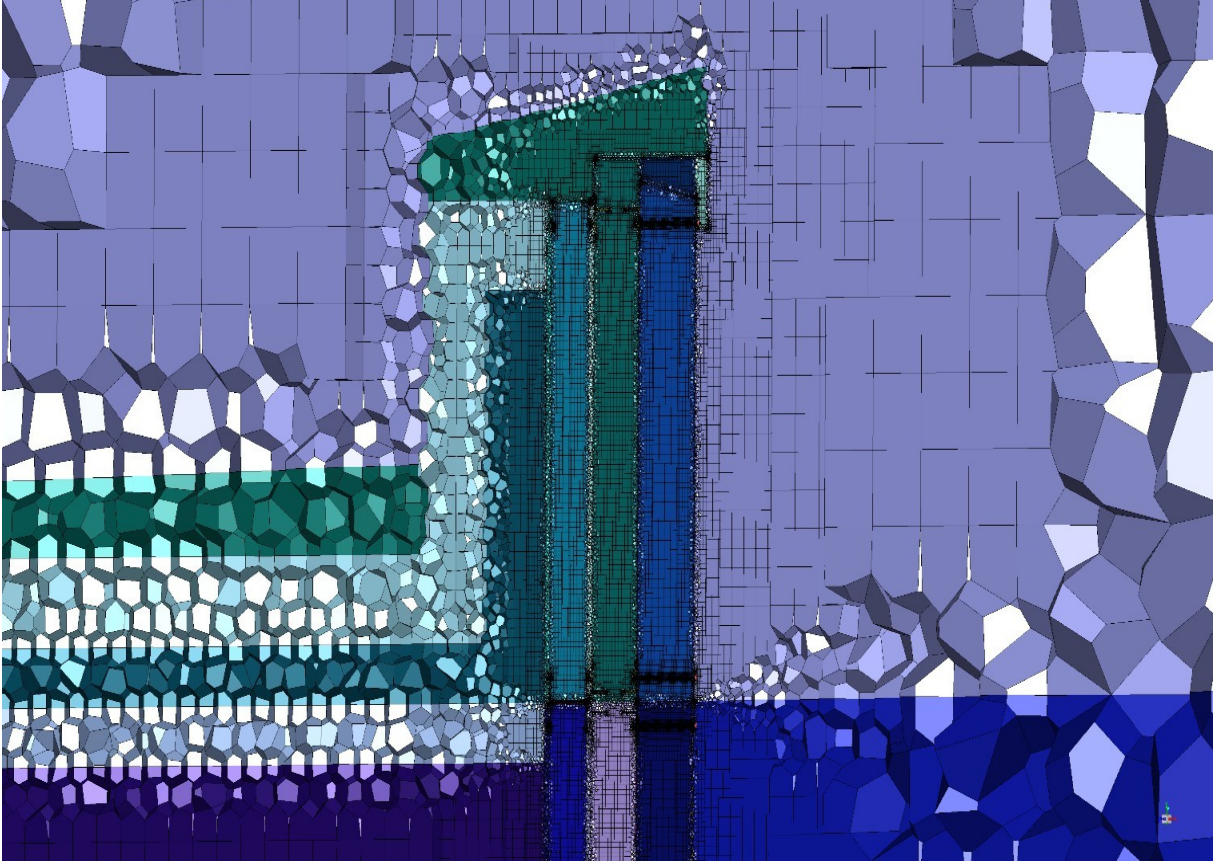
Çərçivə Ansys Fluent sistemində Workflow işçi prosesinin köməyi ilə qurulmuşdur (Şəkil 3.23–3.25) [11-12]. Həcmi çərçivə elementlərinin növü - polyhedra/polyhexcore. Elementlərin sayı - 33 milyon ədəd, qovşaqların sayı - 126 milyon ədəddən çoxdur. Çərçivə şəbəkəsinin minimum ölçüsü -  $1\text{ mm}$ , maksimum -  $300\text{ mm}$ -dir. Elementin artım dərəcəsi 1.2 qəbul edilmişdir (Şəkil 3.26).



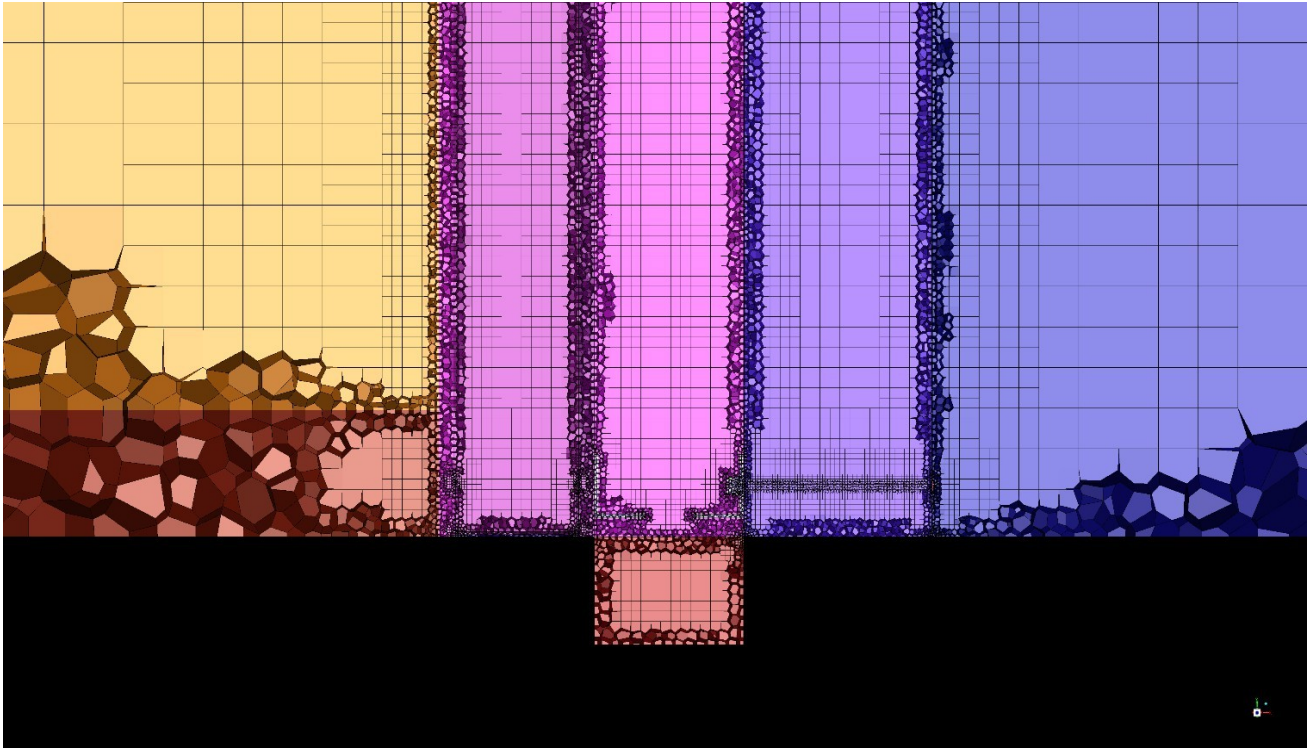
Şəkil 3.23. Ansys Fluent modeli üzrə çərçivənin



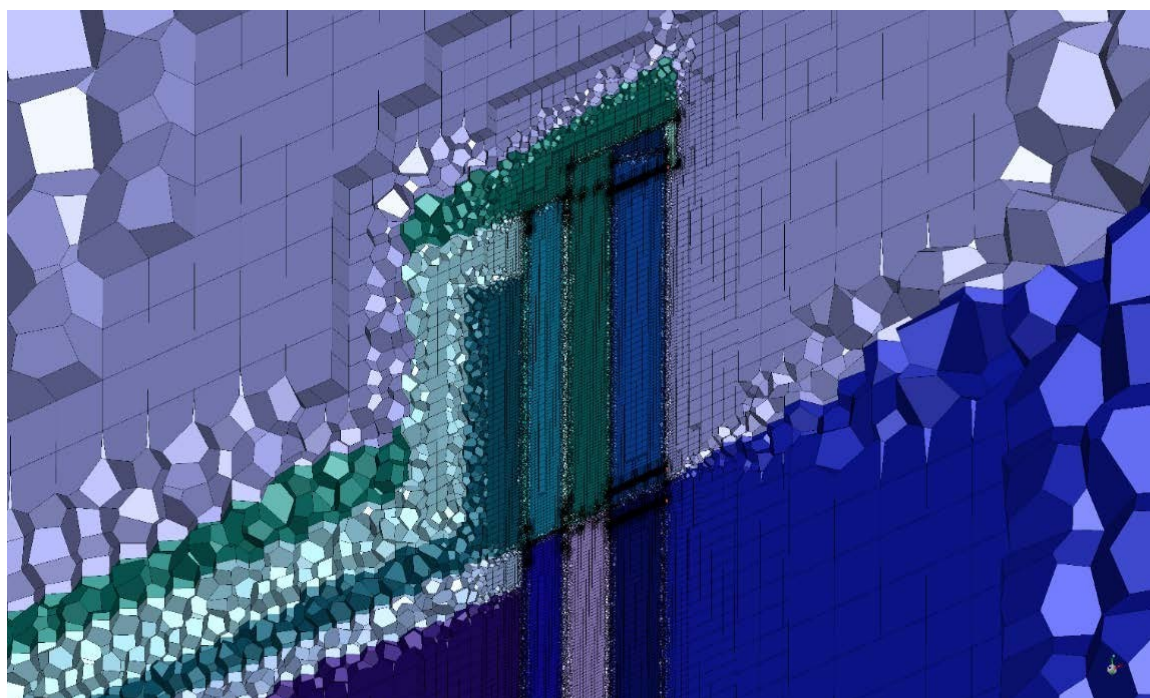
ümumi görünüşü



Şəkil 3.24. Ansys Fluent modeli üzrə parapet panelinin çərçivəsi



Şəkil 3.25. Ansys Fluent modeli üzrə giriş lövbərinin və panelin çərçivəsi



Şəkil 3.26. Ansys Fluent modeli üzrə aksonometriyada çərçivənin şəbəkələri

### 3.2.3. Çoxqatlı fasad panelinin hesabat modelinin materiallarının xassələri

ANSYS Fluent modelində bütün elementlər üçün materialların növləri və onların xassələri cədvəl 3.5-də verilmişdir.

Cədvəl 3.5.

Hesabat modelinin materiallarının xassələri

Material	Sıxlıq, $\rho, kq/m^3$	İstilikkeçirmə əmsalı, $\lambda, Vt/(m \cdot K)$	Xüsusi istilik tutunu, $C_p, C/(kq \cdot K)$
Alüminium (aluminium)	2719	202,4	871
Akvapanel (aquapanel)	1200	0,35	900
Dəmir beton (reinforced concrete)	2500	2,04	840
Daş yun (thermal insulation)	110	0,041	920
Keramzit (genişlənmiş gil) (expanded clay)	400	0,12	840

Polad (steel)	7850	70	460
Yüngül betondan təbəqə (lightweight concrete)	880	0,4	850
Polad istilik profili (thermal profile)	7850	7	460
Penopolistrol (polysterene)	34	0,034	1450

### 3.2.4. Hesabat modelinin sərhəd şərtləri

ANSYS Fluent programında sərhəd səthlərində modelin giriş parametrləri verilmişdir (Şəkil 3.27):

- Ətraf mühətdən hava axınının giriş qiymətləri axının (küləyin) sürətinin –  $V_{wind}$  (m/s) və ətraf mühitin temperaturunun  $T_{outside}$  (K) verilməsi ilə təyin edilmişdir.

- Hər mərtəbənün otaqlarına daxil olan havanın kütlə sərfinin  $Q_{m\_inlet\_fl}$  (kq/s) və temperaturunun  $T_{inlet\_fl}$  (K) qiymətləri verilmişdir. Otaqdan xaric olunan havanın sərhəd şərti atmosfer təzyiqinə bərabər təzyiq (pressure-outlet) qəbul edilmişdir. Panel boşluğunun girişində havanın kütlə sərfinin  $Q_{m\_inlet\_bs}$  (kq/s) və temperaturunun  $T_{inlet\_bs}$  (K) qiymətləri verilmişdir. Panel boşluğunun daxilindəki domen ətraf mühitin domenləri ilə qarşılıqlı əlaqədədir. Panelin ventilyasiya (havalandırma) boşluğuna girişdə havanın kütlə sərfini ( $Q_m$ ) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$Q_m = Q \cdot \rho, \quad (3.13)$$

burada:  $\rho$  – havanın sıxlığı, kq/m<sup>3</sup>;  $Q$  – havanın həcm sərfini, m<sup>3</sup>/san, aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$Q = V_{dax} \cdot n / 3600 \cdot N \quad (3.14)$$

burada:  $V_{dax}$  – binanın daxilində havanın həcmi, m<sup>3</sup>;  $n$  – hava mübadiləsinin dəfəliyi, 1/saat;  $N$  – bir mərtəbənün panellərinin sayıdır, ədəd.

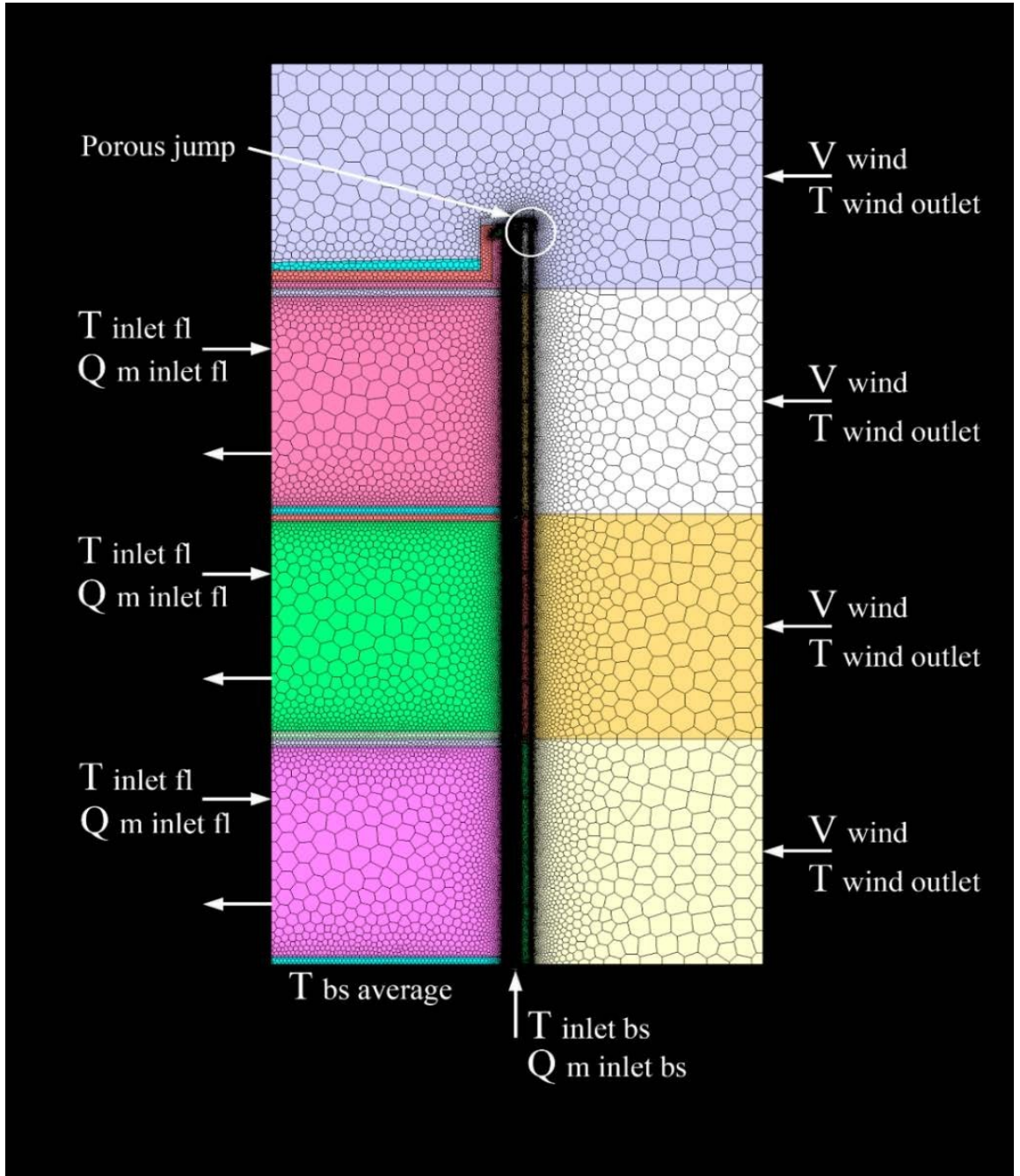
Otağın girişində havanın kütlə sərfini  $Q_{m\_inlet\_fl}$  düsturla hesablanır:

$$Q_{m\_inlet\_fl} = V_{domen} \cdot \rho / 3600 \quad (3.15)$$

burada  $V_{domen}$  – mərtəbədə daxili hava domeninin həcmidir, m<sup>3</sup>.

- Zirzəmidə havanın temperaturunun  $T_{bs\_average}$  (K) qiymətləri verilmişdir.

- Hava çıxışı üçün parapet panelindəki klapan boşluqdakı hava domenləri arasında “porous jump” sərhəd şərtləri kimi şərti olaraq modelləşdirilmişdir. Bu parametrlər verilmişdir: şərti qalınlıq, istilik müqaviməti ( $0,1 (m^2 \cdot K)/Vt$ ). Parametrlərin qiymətləri verilmiş külək sürəti üçün panel boşluğuna əks hava axınının olmaması şərti əsasında seçilmişdir.



Şəkil 3.27. Hesabat modelinin sərhəd şərtləri

Modelin çıxış parametrləri cədvəl 3.6-da verilmişdir. Qəbul edilən işarələr: Bs – zirzəmi, fl1 – 1-ci mərtəbə, fl2 – 2-ci mərtəbə, fl3 – 3-cü mərtəbə, pt – parapet.

Cədvəl 3.6

Hesabat modelinin çıxış parametrləri

Adı	Parametrlər
p_s4_inlet_bs_ave	Boşluğa (bs) girişdə orta təzyiq
p_s4_bs_fl1_ave	Boşluqda (bs) və (fl1) arasında orta təzyiq
p_s4_fl1_fl2_ave	Boşluqda (fl1) və (fl2) arasında orta təzyiq
p_s4_fl2_fl3_ave	Boşluqda (fl2) və (fl3) arasında orta təzyiq
p_s4_fl3_pt_ave	Boşluqda (fl3) və (pt) arasında orta təzyiq
s4_pt_valve_ave	Boşluğun klapanında orta təzyiq
q_wall_s1_fl1_ave	(fl1) otağından istilik axınının sıxlığı
q_wall_s1_fl2_ave	(fl2) otağından istilik axınının sıxlığı
q_wall_s1_fl3_ave	(fl3) otağından istilik axınının sıxlığı
reynolds_fl1_ave	(fl1) Reynolds ədədinin orta qiyməti
reynolds_fl2_ave	(fl2) Reynolds ədədinin orta qiyməti
reynolds_fl3_ave	(fl3) Reynolds ədədinin orta qiyməti
t_outlet_fl1_ave	(fl1) otağından çıxışda orta temperatur
t_outlet_fl2_ave	(fl2) otağından çıxışda orta temperatur
t_outlet_fl3_ave	(fl3) otağından çıxışda orta temperatur
t_pt_outlet_ave	(pt) çıxışında orta temperatur
t_s4_bs_fl1_ave	Boşluqda (bs) və (fl1) arasında orta temperatur
t_s4_fl1_fl2_ave	Boşluqda (fl1) və (fl2) arasında orta temperatur
t_s4_fl2_fl3_ave	Boşluqda (fl2) və (fl3) arasında orta temperatur
t_s4_fl3_pt_ave	Boşluqda (fl3) və (pt) arasında orta temperatur
t_s4_pt_valve_ave	Boşluqda (pt) klapanında orta temperatur
t_pt_outlet_ave	Boşluqda (pt) çıxışında orta temperatur
t_wall_s1_fl1_ave	(s1 fl1) divarının (hava) orta temperaturu

t_wall_s1_fl1_min	(s1 fl1) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s1_fl2_ave	(s1 fl2) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s1_fl2_min	(s1 fl2) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s1_fl3_ave	(s1 fl3) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s1_fl3_min	(s1 fl3) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s1_pt_ave	(s1 pt) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s1_pt_min	(s1 pt) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s3_fl1_ave	(s3 fl1) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s3_fl1_min	(s3 fl1) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s3_fl2_ave	(s3 fl2) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s3_fl2_min	(s3 fl2) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s3_fl3_ave	(s3 fl3) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s3_fl3_min	(s3 fl3) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s3_pt_min	(s3 pt) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s4_fl1_min	(s4 fl1) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s4_fl2_min	(s4 fl2) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s4_fl3_min	(s3 fl3) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s4_pt_min	(s4 pt) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s5_fl1_ave	(s5 fl1) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s5_fl1_min	(s5 fl1) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s5_fl2_ave	(s5 fl2) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s5_fl2_min	(s5 fl2) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s5_fl3_ave	(s5 fl3) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s5_fl3_min	(s5 fl3) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s5_pt_min	(s5 pt) divarının (hava) minimal temperaturu
t_wall_s7_fl1_ave	(s7 fl1) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s7_fl2_ave	(s7 fl2) divarının (hava) orta temperaturu
t_wall_s7_fl3_ave	(s7 fl3) divarının (hava) orta temperaturu

### 3.2.5. Eksperimental planlaşdırma nəzəriyyəsi əsasında hesabatın birinci

## mərhləsində panelin parametrlərinin dəqiqləşdirilməsi

İlk mərhələdə hesabat eyni xarici və daxili şəraitdə (küləyin sürəti, havanın kütlə sərfi, otaqlarda və ventilyasiya (havalandırma) boşluğunda daxil olan havanın temperaturu) ən soyuq ayın orta temperaturuna bərabər olan ətraf mühitin temperaturunda aparılmışdır. Birinci mərhələnin hesabatı hər hesablaşma halında 1200 iterasiya ilə məhdudlaşdırılmışdır. Hesabat modelinin giriş parametrləri cədvəl 3.7-də verilmişdir.

Cədvəl 3.7

Hesabat modelinin giriş parametrləri

Adı	Parametrlər	Qiyməti	Ölçü vahidi
Qm_inlet_bs	Panelin ventilyasiya boşluğuna girişdə kütlə sərfi	0,016	<i>kq/san</i>
T_inlet_bs	Ventilyasiya boşluğuna girişdə havanın temperaturu	298	<i>K</i>
Qm_inlet_fl	Mərtəbədə kütlə sərfi (daxil olan hava)	0,00333531	<i>kq/san</i>
T_inlet_fl	Mərtəbəyə girişdə temperatur (daxil olan hava)	294	<i>K</i>
V_wind	Küləyin sürəti	5	<i>m/san</i>
T_wind_outlet	Ən soyuq ayın (yanvar) orta temperaturuna bərabər olan ətraf mühitdə küləyin (havanın) temperaturu	268,3	<i>K</i>
W_heat_flux_floor	İstilik axını (isti döşəmə)	0	<i>Vt/m<sup>2</sup></i>
T_bs_average	Zirzəmidə havanın orta temperaturu	283	<i>K</i>

Çoxqatlı fasad panelinin optimal həndəsi parametrlərini seçərkən aşağıdakı şərtlər yerinə yetirilməlidir:

- panelin ümumi qalınlığı 400 mm-dən çox olmamalıdır, bu, izolyasiyalı divarın orta qalınlığına və ventilyasiya olunan (havalandırılan) fasadın konstruksiyasına uyğundur;
- divarın daxili səthi ilə otaqdakı hava arasındakı temperatur fərqi 4°S-dən çox olmamalıdır [13];
- ventilyasiya olunan (havalandırılan) boşluğun elementlərinin temperaturu onların ətraf mühitdən axan havanın şəh nöqtəsindən yüksək olmalıdır.

Çoxqatlı fasad panelinin optimal parametrlərinin seçilməsi üçün biz eksperimental planlaşdırma nəzəriyyəsinə istifadə edəcəyik [14-17].

Tədqiqatın məqsədi yuxarıda göstərilən şərtlərə cavab verməklə gətirilmiş istilikötürmə müqavimətinin maksimum qiymət alacağı bir sıra parametrləri müəyyən etməkdir:

$$K_{CFP}=f(X_1, X_2, X_3)max \quad (3.16)$$

burada:  $K_{CFP}$  - gətirilmiş istilikötürmə müqaviməti,  $(m^2 \cdot S)/Vt$ ;

$X_1$  - istilik izolyasiyasının xarici təbəqəsinin qalınlığı,  $mm$ ;

$X_2$  - ventilyasiya olunan (havalandırılan) boşluğun ölçüsü,  $mm$ ;

$X_3$  - istilik izolyasiyasının daxili təbəqəsinin qalınlığıdır,  $mm$ .

$$tinlet\_fl - twall\_s1\_min^{t_p}; twall\_s3\_min^{t_p}; twall\_s4\_min^{t_p}; twall\_s5\_min^{t_p}, \quad (3.17)$$

burada:  $tinlet\_fl$  - otaqda havanın temperaturu, °S;  $twall\_s1\_min$  - panelin daxili divarının minimum temperaturu, °S;  $twall\_s3\_min$  - panelin ventilyasiya olunan boşluğu tərəfindən akvapanel divarının minimum temperaturu, °S;  $twall\_s4\_min$  - daşıyıcı şvellerin minimum temperaturu, °S;  $twall\_s5\_min$  - panelin ventilyasiya olunan boşluğu tərəfindən alüminium listin minimum temperaturu, °S;  $t_p$  - şəh nöqtəsi, temperaturu, °S.

Əvvəlki tədqiqatların nəticələrinə əsasən, çoxqatlı fasad panelinin elementləri üçün materiallar, "soyuq körpülər" yaradan bərkidici elementlərin sayı və yeri, ventilyasiya olunan (havalandırılan) boşluğu əmələ gətirən daşıyıcı profilin tələb olunan qalınlığı müəyyən edilmişdir.



Mövcud standart və normativlərə uyğun olaraq, istilik izolyasiya təbəqələrinin mümkün qalınlıqlarının ilkin təhlili aparılmışdır.

Əldə edilmiş məlumatlar apriori olaraq qəbul edilmişdir.

Eksperimentin planlaşdırılması zamanı əsas amillər kimi  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  qiymətləri seçilmişdir.  $X_1$  qiymətinin dəyişmə intervalı əsas səviyyənin 125 mm qiymətində 25 mm olaraq qəbul edilmişdir, bu addım sendviç panelin standart qalınlığı ilə şərtləndirilmişdir.  $X_2$  qiymətinin dəyişmə intervalı əsas səviyyənin 100 mm qiymətində 20 mm olaraq qəbul edilmişdir, bu addım şvellerlərin çeşidi ilə şərtləndirilmişdir [17].  $X_3$  qiymətinin dəyişmə intervalı əsas səviyyənin 80 mm qiymətində 20 mm olaraq qəbul edilmişdir, bu addım istilik profilinin standart ölçüsü ilə müəyyən edilmişdir. Cədvəl 3.8-də  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  üçün 27 kombinasiyalı variant təqdim olunmuşdur.

Eksperimentin birinci mərhələsində xüsusi çevirmələr əsasında ümumiləşdirici göstəricilər  $Y$  təyin edilmişdir:

$$Y_1=1, \text{ əgər } tinlet\_fl - twall\_s1\_mint^n;$$

$$Y_1=0, \text{ əgər } tinlet\_fl - twall\_s1\_mint^n;$$

$$Y_2=1, \text{ əgər } twall\_s3\_mint_p;$$

$$Y_2=0, \text{ əgər } twall\_s3\_mint_p;$$

$$Y_3=1, \text{ əgər } twall\_s4\_mint_p;$$

$$Y_3=0, \text{ əgər } twall\_s4\_mint_p;$$

$$Y_4=1, \text{ əgər } twall\_s5\_mint_p;$$

$$Y_4=0, \text{ əgər } twall\_s5\_mint_p.$$

Ümumiləşdirici göstəricilər  $Y$  aşağıdakı kimi təyin edilmişdir:

$$Y=Y_1Y_2Y_3Y_4 \quad (3.18)$$

Cədvəl 3.8-də hər bir təcrübə üçün xüsusi çevirmələr əsasında və ümumiləşdirilmiş cavablar təqdim olunur.

## Ümumiləşdirilmiş qiymətlərin təyin olunması

Təcrübə №-si	$X_1$ , MM	$X_2$ , MM	$X_3$ , MM	Çoxqatlı fasad panelinin ümumi qalınlığı, <i>mm</i>	Xüsusi çevirmələr əsasında				Ümumiləşdirilmiş $Y$
					$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	
1	150	120	60	357	0	1	1	1	0
<b>2</b>	<b>150</b>	<b>120</b>	<b>80</b>	377	1	1	1	1	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>150</b>	<b>120</b>	<b>100</b>	397	1	1	1	1	<b>1</b>
4	150	100	60	337	0	1	1	1	0
<b>5</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>80</b>	357	1	1	1	1	<b>1</b>
<b>6</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	377	1	1	1	1	<b>1</b>
7	150	80	60	317	0	1	1	1	0
<b>8</b>	<b>150</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	337	1	1	1	1	<b>1</b>
9	150	80	100	357	0	1	1	1	0
10	125	120	60	332	0	1	1	1	0
<b>11</b>	<b>125</b>	<b>120</b>	<b>80</b>	352	1	1	1	1	<b>1</b>
12	125	120	100	372	0	1	1	1	0
13	125	100	60	312	0	1	1	1	0
14	125	100	80	332	0	1	1	1	0
15	125	100	100	352	0	1	1	1	0
16	125	80	60	292	0	1	1	1	0
17	125	80	80	312	0	1	1	1	0
18	125	80	100	332	0	1	1	1	0
19	100	120	60	307	0	1	1	1	0
20	100	120	80	327	0	1	1	1	0
21	100	120	100	347	0	1	1	1	0
22	100	100	60	287	0	1	1	1	0
23	100	100	80	307	0	1	1	1	0
24	100	100	100	327	0	1	1	1	0
25	100	80	60	267	0	1	1	1	0
26	100	80	80	287	0	1	1	1	0
27	100	80	100	307	0	1	1	1	0

Eksperimentin tərtib olunmuş planına uyğun olaraq 27 hal üzrə hesablamalar aparılmışdır. Vaxta qənaət etmək üçün, təcrübələrin birinci mərhələsində, bütün variantlar üçün, panelin gətirilmiş istilikötürmə müqavimətinin hesablanması istisna olmaqla, bütün şərtlərin yerinə yetirilməsi nəzərə alındı. Çünki gətirilmiş istilikötürmə müqaviməti analitik olaraq təyin edilir. Ümumiləşdirilmiş qiymətlərin üzrə nəticələr göstərdi ki, yalnız altı təcrübə üçün (№2,3,5,6,8,11) daxili divarın temperaturu ilə otaqdakı havanın temperaturu arasında normallaşdırılmış düşgü üzrə şərtlər yerinə yetirilmişdir.

### 3.2.6. İstilik texniki hesabatın ikinci mərhələsində çoxqatlı fasad panelinin optimal həndəsi parametrlərinin seçilməsi

İstilik texniki hesabatın ikinci mərhələsinin məqsədi panelin gətirilmiş istilikötürmə müqavimətinin ən yüksək hesabi qiymətinə uyğun olan çoxqatlı fasad panelinin həndəsi parametrlərini təyin etməkdir.

Hesabatın birinci mərhələsində çoxqatlı fasad panelinin 6 hesablama variantında seçilmiş həndəsi parametrləri eyni xarici şəraitdə panelin hesabi istilikötürmə müqavimətini təyin etmək üçün zəruri olan genişlənmiş idarə olunan parametrlər dəsti ilə və hər bir hesabat halında 2000-ə qədər artırılmış təkrarlamalarla yenidən hesablanır (Cədvəl 3.9).

Çoxqatlı fasad panelinin gətirilmiş istilikötürmə müqaviməti hər mərtəbə üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edərək təyin edilir:

$$R_{CFP}^i = \frac{T_{wall\_s1}^{ave.i} - T_{wall\_s7}^{ave.i}}{q^i}, \quad (3.19)$$

burada:  $T_{wall\_s1}^{ave.i}$  - çoxqatlı fasad panelinin daxili səth divarının orta temperaturu,  $K$ ;

$T_{wall\_s7}^{ave.i}$  - çoxqatlı fasad panelinin xarici səth divarının orta temperaturu,  $K$ ;

$q^i$  - çoxqatlı fasad panelindən keçən istilik selinin sıxlığı,  $Vt/m^2$ , aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$q^i = q_{35}^i - q_{13}^i, \quad (3.20)$$

Hesabatın ikinci mərhələsi üçün 6 hesablama halında çoxqatlı fasad panelinin həndəsi parametrləri

Hesablama halının № -si	İstilik izolyasiyasının xarici təbəqəsinin qalınlığı, <i>mm</i> (thermal_insulation_s6)	Ventilyasiya olunan boşluğun eni, <i>mm</i> (perforated_frame_s4)	İstilik izolyasiyasının daxili təbəqəsinin qalınlığı, <i>mm</i> (thermal_insulation_s2)	Çoxqatlı fasad panelinin ümumi qalınlığı, <i>mm</i>
1	150	120	80	377
2	150	100	80	357
3	150	80	80	337
4	150	100	100	377
5	125	120	80	352
6	150	120	100	397

Boşluqda istilik selinin sıxlığı  $q^i$  ( $Vt/m^2$ ) aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$q_{35}^i = \frac{Q_{35}^i}{S_{35}^i}, \quad (3.21)$$

burada:  $Q_{35}^i$  - boşluqda istilik seli,  $Vt$ ;  $S_{35}^i$  - çoxqatlı fasad panelinin boşluğunda istilik mübadilə sahəsidir,  $m^2$ .

Otaq tərəfdən boşluq istiqamətində istilik selinin sıxlığı  $q_{13}^i$  ( $Vt/m^2$ ) aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$q_{13}^i = \frac{T_{wall\_s1}^{ave.i} - T_{wall\_s3}^{ave.i}}{R_{13}^i}, \quad (3.22)$$

burada:  $T_{wall\_s1}^{ave.i}$  - çoxqatlı fasad panelinin daxili səth divarının orta temperaturu,  $K$ ;

$T_{wall\_s3}^{ave.i}$  - otaq tərəfdən boşluqda divarın orta temperaturu,  $K$ ;

$R_{13}^i$  - çoxqatlı fasad panelinin daxili təbəqəsinin gətirilmiş istilikötürmə müqavimətidir,  $Vt/m^2$ .

Boşluqda istilik seli aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$Q_{35}^j = Q_m C (T_{wall\_s3}^{ave,j} - T_{wall\_s5}^{ave,j}), \quad (3.23)$$

burada:  $Q_m$  - boşluqda havanın kütlə sərfi,  $m^3/san$ ;

$C$  - havanın istilik tutumu,  $C/(kqK)$ ;

$(T_{wall\_s3}^{ave,j} - T_{wall\_s5}^{ave,j})$  - çoxqatlı fasad panelinin girişində və boşluqdan çıxışda temperatur fərqi,  $K$ .

Modelin üçmərtəbəli fraqmenti üçün çoxqatlı fasad panelinin gətirilmiş istilikötürmə müqavimətinin ümumi qiyməti aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$R_{CFP}^i = n, \quad (3.24)$$

burada:  $R_{CFP}^i$  -  $i$ -ci mərtəbənin çoxqatlı fasad panelinin gətirilmiş istilikötürmə müqaviməti;  $n$  – mərtəbələrin sayıdır.

Həndəsi parametrlərin 6 hesablama variantı üçün modelin kontrol səthlərində hesablanmış orta temperatur qiymətləri cədvəl 3.10-da verilmişdir.

Çoxqatlı fasad panelinin gətirilmiş istilikötürmə müqavimətinin hesabı cədvəl 3.11-də verilmişdir.

Cədvəl 3.10

Modelin kontrol səthlərində hesablanmış orta temperatur qiymətləri

Hesablama halının № -si	Mərtəbə	Otaq tərəfdən divarın orta temperaturu, °S	Ətraf mühit tərəfdən divarın orta temperaturu, °S	Panelin girişində boşluqda havanın temperaturu, °S	Panelin çıxışında boşluqda havanın temperaturu, °S	Ətraf mühit tərəfdən boşluqda divarın orta temperaturu, °S	Otaq tərəfdən boşluqda divarın orta temperaturu, °S	Boşluqda havanın ortatemperturu, °S
1	1	21,09	-12,83	24,28	21,52	18,88	21,88	22,90
	2	20,80	-13,32	21,52	19,38	17,52	20,16	20,45
	3	20,39	-13,31	19,38	17,52	15,70	18,58	18,45

2	1	21,11	-13,04	24,54	21,51	18,93	21,88	23,03
	2	20,86	-13,38	21,51	19,70	17,74	20,35	20,61
	3	20,37	-13,36	19,70	18,11	16,10	18,60	18,91
3	1	20,94	-12,98	24,66	21,66	18,70	20,99	23,16
	2	20,80	-13,35	21,66	19,54	17,40	20,02	20,60
	3	20,32	-13,34	19,54	17,66	15,87	18,50	18,60
4	1	21,07	-12,91	24,59	21,60	18,88	21,81	23,10
	2	20,86	-13,35	21,60	19,48	17,40	20,31	20,54
	3	20,41	-13,34	19,48	17,45	15,70	18,51	18,47
5	1	21,03	-12,63	24,18	21,00	18,37	21,48	22,59
	2	20,75	-13,25	21,00	18,75	16,67	19,61	19,88
	3	20,45	-13,23	18,75	17,02	14,94	18,15	17,89
6	1	21,11	-12,75	24,31	21,58	18,89	21,92	22,95
	2	20,83	-13,27	21,58	19,31	17,61	20,32	20,45
	3	20,48	-13,27	19,31	17,66	15,86	18,48	18,49

Cədvəl 3.11

Çoxqatlı fasad panelinin gətirilmiş istilikötürmə müqavimətinin hesabı

Hesablama halının № -si	Mərtəbə	Havanın hesabı ,temperatur düşügüsü, °S	Orta temperaturda havanın istilik tutumu, $C/(kg \cdot ^\circ S)$	İstilik seli, $Vt$	Boşluqda istilik mübadilə sahəsi, $m^2$	Boşluqda ümumi istilik selinin sıxlığı, $Vt/m^2$	Otaqdan çıxış istiqamətində istilik selinin sıxlığı, $Vt/m^2$	Ümumi istilik selinin sıxlığı, $Vt/m^2$	Panelinin gətirilmiş istilikötürmə müqaviməti, $(m^2 \cdot ^\circ S)/Vt$
1	1	2,76	1005	44,38	8,765	5,06	-0,50	4,56	7,438
	2	2,14	1005	34,41	8,765	3,93	0,41	4,33	7,873
	3	1,86	1005	29,91	8,765	3,41	1,15	4,57	7,382
	$R_{CFP}, (m^2 \cdot ^\circ S)/Vt$								<b>7,565</b>
	1	3,03	1005	48,72	8,434	5,78	-0,49	5,29	6,460
	2	1,81	1005	29,10	8,434	3,45	0,32	3,78	9,068

2	3	1,59	1005	25,57	8,434	3,03	1,13	4,16	8,110
	$R_{CFP, (m^2 \cdot ^\circ S)/Vt}$								<b>7,880</b>
3	1	3,00	1005	48,24	8,104	5,95	-0,03	5,92	5,729
	2	2,12	1005	34,09	8,104	4,21	0,50	4,70	7,261
	3	1,88	1005	30,23	8,104	3,73	1,16	4,89	6,884
	$R_{CFP, (m^2 \cdot ^\circ S)/Vt}$								<b>6,625</b>
4	1	2,99	1005	48,08	8,434	5,70	-0,41	5,29	6,427
	2	2,12	1005	34,09	8,434	4,04	0,31	4,35	7,866
	3	2,03	1005	32,64	8,434	3,87	1,06	4,93	6,843
	$R_{CFP, (m^2 \cdot ^\circ S)/Vt}$								<b>7,045</b>
5	1	3,18	1005	51,13	8,765	5,83	-0,29	5,55	6,068
	2	2,25	1005	36,18	8,765	4,13	0,73	4,85	7,005
	3	1,73	1005	27,82	8,765	3,17	1,46	4,64	7,261
	$R_{CFP, (m^2 \cdot ^\circ S)/Vt}$								<b>6,778</b>
6	1	2,73	1005	43,90	8,765	5,01	-0,45	4,56	7,432
	2	2,27	1005	36,50	8,765	4,16	0,28	4,45	7,664
	3	1,65	1005	26,53	8,765	3,03	1,12	4,14	8,144
	$R_{CFP, (m^2 \cdot ^\circ S)/Vt}$								<b>7,747</b>

Çoxqatlı fasad panelinin gətirilmiş istilikötürmə müqavimətinin yerinə yetirilmiş hesablamalarının təhlilinin nəticələrinə əsasən (cədvəl 3.11) 2 nömrəli hesablama vəziyyətinə uyğun gələn optimal həndəsi parametrlər müəyyən edilmişdir.

Beləliklə, gətirilmiş istilikötürmə müqavimətinin maksimum qiyməti çoxqatlı fasad panelinin ümumi qalınlığı 357 mm-ə bərabər olan halda əldə edilmişdir: istilik izolyasiyasının daxili təbəqəsinin qalınlığı 80 mm, istilik izolyasiyasının xarici təbəqəsinin qalınlığı 150 mm, panelin hava boşluğu 100 mm-dir.

### 3-CÜ FƏSİLƏ AİD NƏTİCƏLƏR

1. Optimal həndəsi parametrləri təyin etmək  c n  cm rt b li yaşayış binasının fasad fraqmentinin nümunəsində ANSYS proqram paketindən istifadə etməklə parametrik model yaradılmışdır.

2. Müxtəlif iqlim  rəiti  c n parametrlərin seçilməsinə imkan verən panelin istilik izolyasiya təbəqələrinin və ventilyasiya olunan (havalandırılan) hava boşluğunun qalınlıqlarının təyin edilməsi  c n metodika işlənib hazırlanmışdır.

3. Müxtəlif iqlimd  çoxqatlı fasad panelindən istifadənin effektivliyinin qiymətləndirilməsini həyata keçirməyə imkan verən müxtəlif xarici amillərin təsiri zamanı panelin termiki müqavimətinin təyin edilməsi  c n metodika işlənib hazırlanmışdır.

4. Choxqatlı fasad panelinin ventilyasiya olunan (havalandırılan) boşluğuna girişdə tələb olunan hava mübadiləsi dəfəliyi v  müxtəlif ətraf mühit temperaturları  c n “isti d  em ”nin x susı gücü təyin edilmişdir.



1. Многослойная фасадная панель: пат.191998 Рос.Федерация: МПК E04F 13/075, E04F 13/077/ Алехин В.Н., Шароварова Е.П., Бударин А.М.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина». – N 2018141862; заявл. 28.11.2018; опубл.29.08.2019, Бюл. N 25.
2. Шароварова, Е.П. Многослойная фасадная панель с воздушным зазором для энергоэффективных зданий с комплексом ВИЭ / Е.П. Шароварова, С.Е. Щеклеин, В.Н. Алехин, И.А. Степанов // СОК. - 2020.- №5. - с. 36 -40.
3. Российская Федерация. Законы. Об электроэнергетике [Текст]: федер. Закон: [принят Гос. Думой 21 февраля 2003 г.: одобр. Советом Федерации 12 марта 2003 г.].
4. Шароварова, Е.П. Использование фотоэлектрического питания аппарата ИВЛ «Фаза-21» на основе ФЭП третьего поколения / Е.П. Шароварова, С.Е. Щеклеин, В.Н. Алехин, М.А. Фадейкина, М.А. Плесников, Н.В. Перевозкин // СОК. – 2021. - №2. – с.74-77.
5. Шароварова, Е.П. Оценка эффективности использования тонкопленочных фотоэлектрических преобразователей на фасадах зданий / Е. П.Шароварова, С.Е. Щеклеин, В.Н. Алехин, М.А. Фадейкина, М.А. Плесников, Н.В. Перевозкин // СОК. – 2021. - №1. – с.61-63.
6. Контроллер заряда для солнечных батарей DELTA Solar Series серия MPPT. Руководство пользователя. - 20 с.
7. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями №1,2).
8. ANSYS 2020 R1:Help / ANSYS Mechanical User's Guide. – 2020.
9. СП 16.13330.2017. Свод правил. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Поправкой, с Изменениями №1,2).
10. Sharovarova E.P. Multilayer Façade Panel Structure Analysis /E.P. Sharovarova, V.N. Alekhin, A.Y. Skachkov // IOP Conference Series: Materials

Science and Engineering (MSE). – 2020. №962(2).

11. ANSYS 2020 R1:Help / ANSYS Fluent in ANSYS Workbench User's Guide. – 2020.

12. ANSYS 2020 R1:Help / ANSYS Fluent User's Guide. – 2020.

13. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением №1).

14. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

15. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди. - М.: Радио и связь, 1988. - 128 с.

16. Ларин Р.М. Методы оптимизации. Примеры и задачи: учеб. пособие / Р.М. Ларин, А.В. Плясунов, А.В. Пяткин // Новосибирск: Новосиб. Ун-т., 2003. – 115 с.

17. ГОСТ 8240-97. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент (с Изменением №1).

18. Global temperature. Climate data. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://climate.nasa.gov/> (дата обращения: 05.03.2020).

19. Филатов, С.О. Работа теплообменников утилизации теплоты грунта / С.О. Филатов, В.И. Филатов // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. – 2011. - №3. – с.179-184.

20. Васильев, Г.П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России / Г.П. Васильев // АВОК. – 2007. -№5. С. 58-73.

21. Ferroni F. Energy Return or Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation / F. Ferroni, R.J. Hopkirk // Energy Policy. – 2016. - №94. – p.336-344.

22. Графова Г.Ф. Дисконтированный экономический эффект как основной показатель для оценки инвестиционных проектов / Г.Ф. Графова // Инновации. – 2006. - №3(90). – с.106-108.

23. Броневи́ч Ю.С. Оценка экономической эффективности инвестиций / Ю.С. Броневи́ч // Вестник КамчатГТУ. – 2010. - №14. – с.35-42.
24. Хорев А.И. К вопросу о критериях и показателях эффективности инвестиций / А.И. Хорев, В.И. Бербенец // Российское предпринимательство. – 2009. - №4. – с.70-76.
25. Макеева Ф.С. Государственная инвестиционная политика: учебное пособие / Ф.С. Макеева. – Ульяновск: УлГУ, 2015. – 68 с.
26. Теплова Т.В. Инвестиции: учебник / Т.В. Теплова. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 724 с.
27. Уильям Ф.Шарп. Инвестиции /Шарп Уильям, Александер Гордон, Бэйли Джеффри. – М.: Инфра-М, 1999. – 1028 с.