

Szabó Péter

FAVÁZAS ÉPÜLETEK NYÁRI HŐKOMFORTJA  
MAGYARORSZÁGON

Doktori (Ph.D.) értekezés



Témavezető:  
Dr. Winkler Gábor  
tanszékvezető egyetemi tanár

Nyugat-Magyarországi Egyetem

2001

Köszönettel tartozom  
Dr. Kubinszky Mihály  
nyugalmazott egyetemi tanárnak  
a dolgozatom elkészítéséhez nyújtott segítségéért.

# Favázás épületek nyári hőkomfortja Magyarországon

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:  
Szabó Péter

Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem  
Faanyagtudományok és Technológiák  
Faszerkezetek programja keretében  
Témavezető: Dr. Winkler Gábor  
Elfogadásra javasolom (igen/nem)

.....  
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton .....%-ot ért el.

Sopron, .....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javasolom (igen/nem)

Első bíráló (Dr. ....) igen/nem

.....  
(aláírás)

Második bíráló (Dr. ....) igen/nem

.....  
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján .....%-ot ért el.

Sopron, .....  
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése .....

.....  
Az EDT elnöke

<b>Bevezetés</b> .....	5
<b>Faépítészet</b> .....	8
<b>Referenciaépület</b> .....	9
Mérési eredmények .....	12
Számítógépes szimuláció .....	14
<b>Hőtárolóképesség</b> .....	16
Külső falszerkezetek .....	17
Válaszfalak .....	18
Födémszerkezetek .....	19
Tetőkialakítás .....	20
A hőtárolótömeg növelése .....	20
Nehéz szerkezetek .....	21
Helyiségek fajlagos hőtárolótömege .....	22
Fázisváltó anyagok .....	25
<b>Napsugárzás</b> .....	27
Számítási lehetőségek .....	28
Ferde felületek .....	32
A tájolás szerepe .....	35
Tetőablak .....	38
<b>Üvegezések naptényezője</b> .....	40
Ellenőrző számítás .....	42
<b>Árnyékoló szerkezetek</b>	
Nappálya diagram .....	44
Árnyékolt ablakfelület .....	45
Árnyékvetők naptényezője .....	49
<b>Összegzés</b> .....	53
Eredmények .....	55
<b>Felhasznált szakirodalom</b> .....	56
<b>Melléklet</b>	
Programleírás .....	60
Táblázatok (Ir) .....	66
Tervezési értékek (hónap) .....	90
Táblázatok (ISRG) .....	93
Naptényezőzők (N <sub>árny</sub> ) .....	97



Az elmúlt évek során a hazai építési szokások igen jelentős változásokon mentek keresztül. Ennek elsősorban gazdasági okai vannak, de a politika is jelentős részt vállalt a folyamatokból. Az emberek kötődése a „LAKÁS“-hoz azonban csak lassan alakul át, a saját ház -kis kerttel-életcél, és gyakran egy emberöltő szükséges a megvalósításához. Ez egyben azt is jelenti, hogy új munkahely kiválasztásakor fontos szempont a „közelség“, ami egyes ingázó esetében, a fizetés függvényében, akár jelentős „távolság“ is lehet.

Ez az erős kötődés azért alakulhat ki, mert a lakásépítések nagy része nemcsak időt és pénzt emészt fel, hanem igen jelentős az elvégzett sajátmunka aránya is. A kialakult viszonyoknak köszönhetően a legtöbben „tartós“ építőanyagból építkeznek, ezért a faház<sup>1</sup> számukra szóba sem kerülhet. Ezt a vélekedést<sup>2</sup> tovább erősíti, hogy szinte mindenkinek vannak negatív -nyári táborozás, katonaság, bungaló- emlékei, ahol igen silány faházakhoz kellemetlen emlékek társulnak. Felelősség terheli továbbá azokat az építési cégeket<sup>3</sup> is, akik a nagyobb nyereség eléréseért szinte minden „kihagyhatót“ kispórolnak a lakásokból. Olcsóbb árat, akár a hagyományos 2/3-át hirdetik meg, azonban az épület tulajdonosa nagy valószínűséggel az átvétel után a gyorsházak ellenzőinek táborát fogja erősíteni.

*kötődés*

A jelenlegi piaci körülmények között becsületesen, jó minőségben faházat építeni igen komoly erőpróba, amire azért szerencsére akad még példa. Azt azonban a megrendelőnek tudomásul kell vennie, hogy egy jó faház építése drágábban<sup>4</sup>, de akár egy hónap alatt elvégezhető. A legtöbb hagyományos lakóház azért épül akár évtizedekig, mert az építésre szánt pénz időközben elfogy, elmarad a vakolás és a belső munkálatok is csak apránként történnek meg. Egy faház esetében ilyen „halasztott fizetés“ nem oldható meg, ami tovább csökkenti a megrendelők körét. Beruházásként, bérlakások esetében azonban akár ideális megoldásként is szolgálhatnának.

*piaci körülmények*

Az évenkénti megépített faházak száma csak lassan emelkedik, azonban a hagyományos családi házak 75-80%-a tetőtérbeépítéssel készül, valamint a meglévő épületek tetőszerkezete is folyamatosan beépítésre kerül. Ezek a beépítések mind szerkezetileg, mind épületfizikailag meggyeznek egy faház kialakításával. Ez a hasonlóság a tetőtérbeépítést is a faházak kategóriájába sorolja, egyben a legjelentősebb szeletet kihalasztva magának.

*tetőterek*

- 1 dolgozatomban „faházként“ szerepelnek a favázás, pallóvázas, fachwerk, boronafalás épületek és ide tartozónak számítom a beépített tetőtérbeépítést is
- 2 már a gyerekként megismert „Három kismalac“ története -akár tudat alatt- is a kőház mítoszát erősíti.
- 3 kisvállalkozások tömege alakul -és szűnik meg- a nagy haszonnal kecsegtető és „kis szakértelmet“ igénylőnek tartott gyorsházak piacán
- 4 az időfaktort is figyelembe véve egy téglaházhoz képest az ár igen hasonló



Az építési szokások megváltozása az anyaghasználatban jelentkezik a legmarkánsabban. Megjelentek azok az új falazóelemek, amelyek könnyűek, nagy méretűek<sup>5</sup>, és kedvező hőszigetelési mutatókkal rendelkeznek. A hőszigetelések előtérbe kerülését az energiaárak folyamatos emelkedése, valamint az építési szabvány szigorodása váltotta ki. A hazai hőszigetelési kedv a pénztárcának köszönhetően azonban messze alulmarad az Európai Unió gyakorlattól. Az immáron jól hőszigetelt lakásokban a megrendelők körében építészeti igényként fogalmazódik meg a világos, nagy terek kialakítása. Az előírások<sup>6</sup> 1:8 bevilágító felületet írnak elő lakószobák esetében az alapterülethez viszonyítva. Ennél az aránynál jelentősebb mértékben képviseltetik magukat az ablakok a mai építési gyakorlatban. Ez természetesen nem baj, sőt a téli napos időszakokban passzív szolár nyereséget termelhetnek. A tervezésnél azonban figyelembe kell (kellene) venni, hogy a ablakfelületek hőátbocsátási tényezője<sup>7</sup> akár tízszer kedvezőtlenebb a falazatéhoz képest. Ez az éjszakai nyereségmentes téli időszakban az ablakok szigetelését kellene hogy jelentse.

*ablakok szerepe*

Az üvegezett szerkezeten beérkező „napenergia“ télen csak abban az esetben jelent nyereséget, ha a helyiség kellő<sup>8</sup> hőtárolóképességgel rendelkezik, hogy azt hasznosítani tudja. Sokkal nagyobb gondot jelentenek azonban a nyári időszakban az eltúlzott ablakméretek. Ekkor a fellépő túlmelegedés ellen csak a szerkezetek hőtárolása, az éjszakai szellőztetés, az árnyékolószerkezetek, valamint a gépi légkondicionálás jelent megoldást.

*téli viszonyok*

A hazai építési szokások tükrében azonban nagyon kevés figyelmet szentelünk a lakóterünk komfortjára. Télen inkább többet fűtünk, mintsem egy hőszigetelt zsalugátert estére behajtanánk, illetve kinyitjuk az ablakot, ha a fűtés mellett szoláris nyereség adódik. Nyáron még ennél is kevesebbet fordítunk a kényelmünkre, este csukott ablak mellett alszunk, nappal viszont mindent kinyitunk, hogy „járjon a levegő“. Az épületek a tervezési fázisban szinte sohasem kapnak semmilyen árnyékolószerkezetet, hogy később a tulajdonos külső redőnyt vagy belső relaxát „szereltethessen“ fel. Ezek a megoldások esztétikailag gyakran elfogadhatatlanok, és legtöbbször csak a szoba teljes besötétítése árán védik a belső teret a napsugárzástól.

*a használó felelőssége*

**„... a napsugárzás, a fény, a hő az új építészet anyagai, amelyekkel ugyanolyan gondosan kell bánni, mint az acéllal vagy a betonnal.“<sup>9</sup>**

(M. Papadopoulos)

5 A nagyobb elemméret a gyorsabb falazást teszi lehetővé, azonban a függőleges fűgák kitöltése problémát jelent. Ennek megoldására született a habarcsdugós falazóelem, amit az építőipar színvonalá miatt a nűtfédes kialakítás követett. Ez a megoldás igen gyorsá és „bolondbiztossá“ tette a kivitelezést.

6 Országos Településrendezési és Építési Követelmények -OTÉK- § (1998.) 88.3

7 Normál, kétrétegű hőszigetelő ablak:  $k=2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Extra, kétrétegű hőszigetelő ablak:  $k=1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$

8 Építésügyi Ágazati Szabvány MSZ-04-140-2:1991 §7.5. ( $m_H > 2000 \text{ kg/m}^2$ )

9 Zöld András, Energiatudatos építészet Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1999.)



A nyári túlmelegedés azokban az épületekben jelentkezik fokozott mértékben, amelyek nem vagy csak alig rendelkeznek hőtárolóképességgel.<sup>10</sup> Ebbe a kategóriába elsődlegesen a jó hőszigetelő értékű, réteges szerkezetek, vagyis a favázás épületek és a tetőtterek tartoznak. Ebben a tekintetben azonban nem a tartószerkezet anyaga<sup>11</sup> a domináns, hanem a helyiségek hőkapacitása. A fent említett épülettípus azonban jól reprezentálja a nyári időszakban kialakuló komfortproblémákat, ezért az ilyen épületek vizsgálata segít feltárni a teljes problémakört. A témára adott válaszok kellő körültekintéssel akár a hagyományos épületeknél is alkalmazhatóak.

Az egyes helyiségek téli és nyári komfortviszonyai jelentősen eltérnek. A különböző éghajlati viszonyok más és más technikák alkalmazását teszi szükségessé. Gyakran nehéz, vagy szinte lehetetlen a különféle elvárásoknak<sup>12</sup> egyszerre megfelelni. A kihívásokra azonban már a tervezési folyamatban válaszolni kell, egy rossz, átgondolatlan terv rossz épületet fog eredményezni, amin utólag nehezen és főleg nagyon drágán lehet csak javítani. Az épületek esetében nem lehet cél, hogy a tervezési hibák miatt is gépészeti berendezéseket kelljen üzemeltetni egész éven keresztül. A hazai lakosság az energiafogyasztásának már így is az 54%-t fordítja fűtésre.

Mivel az említett komfortproblémák a kis tömegű könnyűszerkezetes építésnél fokozottan jelentkeznek, ezt a területet választottam kutatási témául. Ide tartoznak a kitöltőfalas fém- vagy faszerkezetek, a különféle favázás épületek és a tetőtterek is. A felsorolt kategóriák azonban főleg építéstechnológiai különbségeket jelentenek, a lakók komfortérzete nem különbözik, hiszen a falszerkezetek rétegfelépítése ugyanazokból a korszerű anyagokból szinte azonos módon történik. A terület beható vizsgálatakor a következő célokat határoztam meg:

#### **- a nyári méretezést megkönnyítő tervezési segédlet létrehozása**

- egy favázás épületben kialakuló nyári viszonyok műszeres vizsgálata
- a használatos szerkezetek hőtárolóképességének kiszámítása
- kedvezőbb rétegfelépítésű épületszerkezetek méretezése
- a hazai viszonyoknak megfelelően besugárzási adatok meghatározása
- a különböző tájolású ferde felületeket érő besugárzás meghatározása
- az egyes felületeket érő besugárzások komponensekre bontása
- az adatok használatát lehetővé tévő ábrázolási módszer kidolgozása
- ferde felületű ablakok naptényezőjének meghatározása
- az árnyékvetők méretezését megkönnyítő módszer kidolgozása

*célkitűzések*

10 MSZ-04-140-2:1991 §2.2.

11 A fém- illetve vasbetonvázás épületek is ide sorolhatóak, amennyiben a vázkitöltés anyaga a „faházak“-nál alkalmazott rétegrendet követi. A „favázás“ kifejezést az érthetőség miatt mint fő reprezentánst választottam.

12 A kedvező téli ablakfelületek nyáron inkább gondot jelentenek, a túlzott hőtárolás pedig kifűthetetlen lakásokat eredményezhet. Egy fix árnyékoló nyáron igen hasznos, télen akár bevilágítási gondokat is okozhat.



A faépítészet témaköréből hazánkban régészeti leletek csak elszórtan maradtak fenn, a feltárási eredmények azonban arra engednek következtetni, hogy a fa igen jelentős szerepet játszott a népi<sup>13</sup> építészetünkben. A nagyobb erdőségek közelében lehettek jelentősebb építkezések, így az erdélyi és felvidéki vármegyéken kívül Baranya, Bereg, Fejér, Somogy, Szabolcs, Szatmár, Tolna, Vas és Zala vármegyékben.

*a faépítészet fő területei*

Az 1700-as évektől kezdve a faépítkezés egyre inkább a háttérbe szorul. Ennek a visszaesésnek az oka elsősorban az erdőgazdálkodás hiánya. Igen jelentős mértékben csökken a jó minőségű épületfát adó erdőségek nagysága. Másodsorban a földesuraknak az a törekvése, hogy az „erdőlés” jogát kivonják a faluközösségek kezéből. Épületfát csak tető, ablak és ajtó készítésére adnak jobbagyaik számára.

*a háttérbeszorulás okai*

A faházépítkezésnek két fő csoportja alakult ki: a tömörfalas<sup>14</sup> rendszerek az egyik, míg a gerendaváz<sup>15</sup> (faváz) faltechnikák a másik alapvető típust jelentik. Népi építészetünkben mindkét csoportra találhatunk példát, amelyek egy-egy tájegységnek meghatározták az építészeti karakterét.

*fő változatok*

Napjainkban a fenti két említett kategória mellé újként megjelentek a panelos<sup>16</sup> és a térelemes építési rendszerek, amelyek szinte teljesen kiszorították a régebbi szerkezeteket Európában<sup>17</sup>. A felsorolt kategóriák azonban főleg építéstechnológiai különbségeket jelentenek, a lakók komfortérzete nem különbözik, hiszen a falszerkezetek rétegfelépítése<sup>18</sup> ugyanazokból a korszerű anyagokból szinte azonos módon történik.

*építéstechnológiák*

Az azonosságok miatt nem szükséges az egyes építési típusokat külön tárgyalni, jellemzőbb, ha a falszerkezeteket rétegrendjük alapján különböztetjük meg. Ez a tárgyalásmód a régi, de a mai igények<sup>19</sup> alapján felújított faházakra ugyanúgy érvényes.

*rétegfelépítések*

13 Dám László, Építkezés, Néprajz Egyetemi Hallgatóknak (13), Debrecen, (1992.)

14 A tömörfalas rendszert a borona és zsilipelt fal alkotja.

15 Ebbe a típusba lehet besorolni a német „fachwerk“-et, az amerikai pallóvázás házakat, valamint a japán tradicionális és modern faházakat is.

16 Kis és nagypanelok jellemzik ezt a kategóriát.

17 Amerikában továbbra is a pallóvázás konstrukció maradt a jellemző.

18 A tömörfalas rendszer az egyetlen, ami rétegrendjében jelentősen eltér. (a csomópontok ismertetésekor külön kitérek rá)

19 A szigorú követelmények miatt általában új rétegfelépítést kapnak az épületek.





Az Európai Unió által meghirdetett PASCOOL PROGRAM<sup>20</sup> keretében 1994-ben szerencsém volt egy mérés-sorozatban résztvenni<sup>21</sup>. Magyarország egy panelszerkezetű, favázás épület vizsgálatával kapcsolódott a nemzetközi programhoz. Az épület kiválasztásakor próbáltam törekedni arra, hogy a hazai palettáról egy jellemző típust szerepeltessünk<sup>22</sup>. A választás a BAU-QUICK Kft<sup>23</sup> irodaépületére (1. ábra) esett.

A Kft. kispanelos faházak gyártására szakosodott, és főleg ausztriai és német megrendeléseknek tett eleget. Az épületeinek mind a megjelenése, kivitelezése, valamint a szerkezeti kialakítása is a nyugati normák<sup>24</sup> szerint történt. Az irodaház külső dryvit vakolatot, cserépfedéses megjelenése elsősorban nem is árulja el, hogy favázás épületet rejt magában. Ez a leggyakoribb külső kialakítás a nyugati faházak esetében és ez a tendencia figyelhető meg idehaza is.

Az irodaház két azonos tömeg nyaktagos összekapcsolásával jött létre (2. ábra). A két épületrész „tipikus” tetőtérbeépítéses, földszintes családi háznak tekinthető, méretében és belső elrendezésében is. Az irodában dolgozók száma sem haladja meg jelentősen egy család lélekszámát.

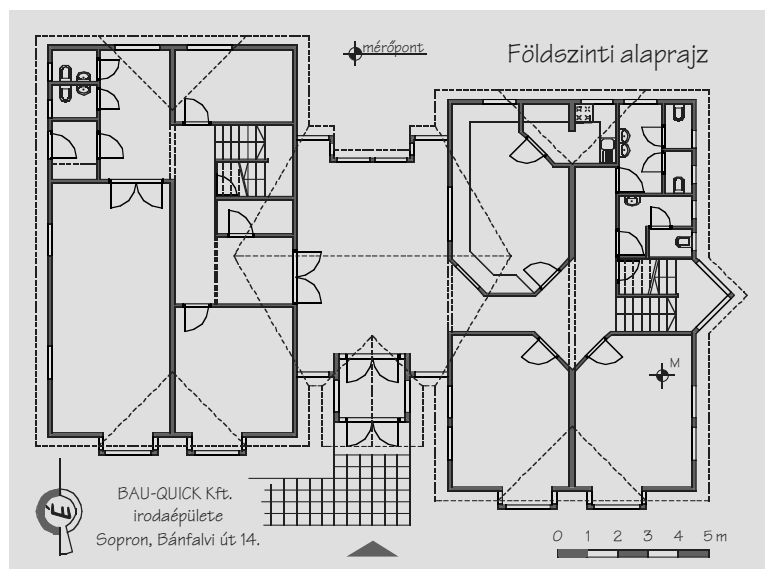
Az épületegyüttesnek a nyugati szárnya épült meg először, a keleti szárnyat 1994 tavaszán fejezték be. Az a mérés idején üresen állt. Mindkét épületraktust mérve egyszerre kaphattunk adatokat egy használat alatt lévő és egy üres - tipikusnak nevezhető - lakásról. A választás így több szempontból is ideálisnak tekinthető.



BAU-QUICK Kft. irodaépülete 1994.  
Sopron, Bánfalvi út 14.

fénykép  
az utca felől

1. ábra



2. ábra

20 A program a passzív hűtés lehetőségeit vizsgálta az egyes országokban.

21 A hazai mérésorozatban Zöld András vezetésével Várfalvi János, Orbán Tamás és Szikra Csaba vett még részt a BME képviseletében.

22 Fontos szempont volt természetesen a fogadókészség is, hiszen a mérés idejére néhány helyiség a mérőműszerek miatt gyakorlatilag használhatatlanná vált.

23 A Kft. favázás épületek tervezésével és kivitelezésével foglalkozott (azóta tulajdonos, név és profilváltás történt).

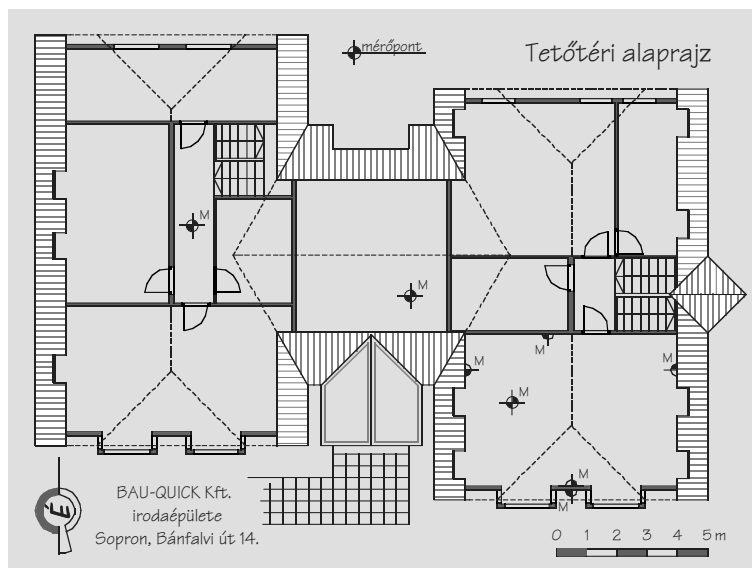
24 Hőtechnikai szempontból az előírások a hazaihoz hasonlóak.



A mérés során egy tetőtéri (3. ábra) szobát vizsgáltunk elsődlegesen, azonban további mérőpontokat telepítettünk minden jelentős szobába is. Gyakorlati<sup>25</sup> megfontolások alapján egy üresen álló helyiségben állíthatuk fel a legtöbb mérőberendezést<sup>26</sup> és az eredményeket regisztráló számítógépterminált. A mérésre 1994. júliusában<sup>27</sup> került sor, majdnem egy hónapon keresztül. A vizsgálat során a számítógép tízperces időközökben regisztrálta a hőmérsékletre, páratartalomra és a légmozgásra vonatkozó adatokat<sup>28</sup>. A külső levegőre és napfénytartamra vonatkozó értékek az Országos Meteorológiai Szolgálatól kerültek megvásárlásra.

A kiválasztott szoba déli tájolású, de a tetőtéri ablakokon<sup>29</sup> keresztül keletről és nyugatról is éri napsugárzás. A tervező az épületet „passzív szolár” rendszerként képzelte el, nagy déli ablakfülkékkel (4. ábra) és kis északi nyílásokkal. A tető barna Bramac cserépfedést kapott, az ereszkinyúlás 50 cm-es. A szobákba parketta illetve padlószőnyeg burkolat került. A belső falfelületek festett, fehér tapéta borításúak. Az épület külső nemesvakolat rétege halványkék színű, az ablakokat fehér festett káva keretezi. Az ablakok dupla hőszigetelő üvegezésű barnára mázolt faszervezetek<sup>30</sup>. A belső ajtók fehér lemezzel kialakításúak.

Az épületeket összekötő nyaktag szolgál főbejáratként, ahol a recepció kapott helyet. A bejárat csarnok üvegfedésű, a szerkezeti kialakítása megfelel egy télikert felépítésének. Az üvegezett főbejárat semmilyen árnyékolószerkezettel sincs védve. Az árnyékolók hiánya az egész épületre jellemző, így nyáron egyedül a tetőablakok külső vászonrolója biztosít védelmet a tűző napsugarakkal szemben. Némi árnyat az épület előtt álló hatalmas gesztenyefák lombkoronája is ad, ez azonban a nyári magas napállás miatt igen kis jelentőségű, a tetőablakok esetében ez figyelembe sem vehető. Az épület tömegformálása olyan, hogy külső árnyékolók elhelyezését nem is lehet elképzelni, mert azok megbontanák az épület „karakterét”.



3. ábra



4. ábra

árnyékolók

25 A vizsgálat alatt is „zavartalanul” folyt a munka az épületben.

26 Mérési pontokat helyeztünk el a falfelületeken, a padlón és a mennyezeten, valamint a belső térben 25 cm-es magasságkülönbséggel.

27 1994. július 7-től 1994. július 27-ig.

28 A teljes mérés alatt több mint 50 000 adat került rögzítésre.

29 A tetőtérbe VELUX ablakok kerültek beépítésre.

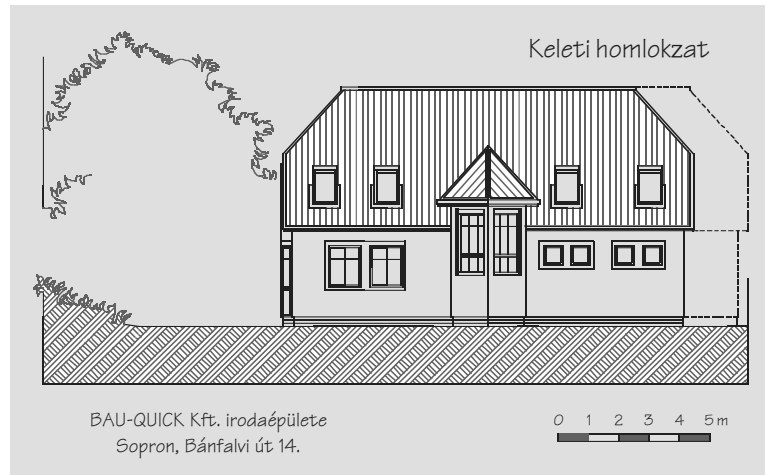
30 Minden ablak SOFA típusú faablak.



Az irodaház elcsúsztatott szimmetrikus elrendezését egyedül a keleti oldal kiemelt lépcsőháza bontja meg. Erre az építészeti megoldásra indokként az szolgálhatott, hogy az épületet az ügyfelek ebből az irányból (5. ábra) látják meg először.

Ez az épület nincsen alapincézve<sup>31</sup>, de erre nincs is indok egy „középület” esetében. A hazai igények azonban szinte minden családi ház alapincézését megkövetelik. Itt kap gyakran helyet a rámpával megközelíthető garázs is. A vizsgálat értékéből azonban ez a különbség nem von le semmit, hiszen a pincészent mindig hagyományos építési anyagokból<sup>32</sup> készül, ott huzamosabb tartózkodásra szolgáló helyiség nincsen. A födém szerkezet a -szoba felőli oldalról- pedig a faház esetében is ugyanaz.

A vizsgált épület külső falszerkezete<sup>33</sup> (6. ábra) panelek formájában került kialakításra, azok egymáshoz kapcsolását fém kötőelemek biztosítják. A tető fa felépítménye (7. ábra) rétegfelépítését tekintve igényesebb a hazai átlagnál, mert a belső gipszkarton alatti építőlemez szinte minden esetben kimarad. Különbséget jelent továbbá, hogy a fedélszék esetében hagyományos ácsjellegetű kötések helyett mérnöki kapcsolóelemeket használtak. Ez egy „faház gyár” esetében teljesen indokolt, nagyobb a termelékenysége. Ez a különbség azonban csak statikailag jelent eltérést. A födém szerkezet (8. ábra) fa pallókból épült<sup>34</sup>, közbülső hőszigeteléssel, parketta borítással. Az általunk mért helyiség is ilyen burkolat kialakításával épült.



5. ábra



6. ábra



7. ábra



8. ábra

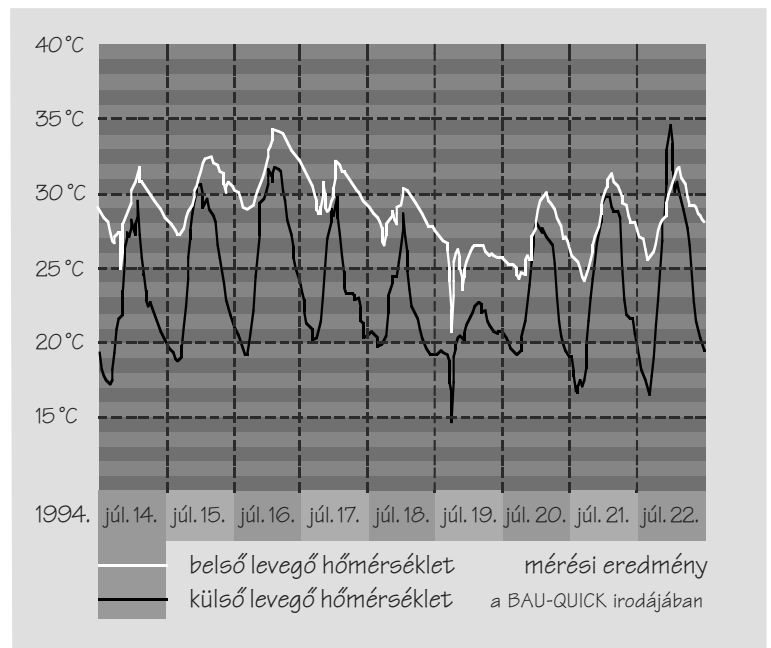
- 31 A nyugati gyakorlatban sokkal ritkább a pince építése, mint hazánkban. Gyakran a tárolási problémákat, valamint a garázs toldalék- vagy mellék - épületben helyezik el. A magyar építési telkek -gazdasági indokok miatt- nagyon kis parcellákra osztottak.
- 32 Téglá vagy beton blokkok kerülnek beépítésre, ezeket a közvélemény „hagyományos” építőanyagoknak tartja az -ősibb- favázzal szemben.
- 33 Ez a rétegfelépítés a hazai faházak esetében jellemzőnek tekinthető. Esetenként a Betonyp lemezt kezdik pár éve OSB építőlemezzel kiváltani. Ez a -forgácslap- az amerikai pallóvázas technológiából került át hazánkba.
- 34 Az cégnél Grieszler Zsolt kidolgozott egy fa pallófödém rendszert, ami azonban csak statikailag tér el a hagyományostól, épületfizikailag nem.



A mérés ideje alatt igen „kedvező“ nyári időjárás uralkodott Sopronban. A verőfényes kánikulai időt zápor is csak két alkalommal szakította meg<sup>35</sup>. A vizsgált nyár igen meleg volt, azonban ez nem tekinthető semmilyen szempontból sem kivételesnek. A témaválasztásom szempontjából azonban ideális, hiszen a komfortproblémák az irodában jelentkeztek, így azok okait meg lehetett vizsgálni.

A teljes mért időszakból a grafikonok elkészítéséhez azokat a részeket választottuk ki, amelyek karakteresek<sup>36</sup> és jól szemléltetik az egyes vizsgált jellemzőket.

Az első vizsgálat a tetőtéri szoba belső levegőjének<sup>37</sup> és a külső léghőmérsékletnek a kapcsolatára (9. ábra) vonatkozott. A grafikonról jól leolvasható, hogy a külső levegő hőmérsékleti maximuma 30 °C fok körül alakult és éjszaka is csak ritkán hűlt 20 °C alá. A belső tér hőmérsékleti görbéje is ugyanezt a periodikus változást követi, de 5 - 10 °C fokkal magasabb hőmérsékleten. A szobában nem ritka a 32 °C hőmérséklet sem. Ilyen melegben azonban jelentősen romlik az emberek közérzete és koncentrálóképessége.



9. ábra

Az ábráról kitűnik, hogy a belső maximum csak elhanyagolhatóan kis időbeli különbséggel tetőzik a kintihez képest. Látható, hogy július 19-én kissé felfrissült az idő, délelőtt egy futó zápor is lehűtötte a levegőt. A zápor ideje alatt az iroda dolgozói kinyitották az ablakokat és azokat nyitva is felejtették<sup>38</sup> a mért tetőtéri szobában, azonban ennek ellenére sem ment le a belső hőmérséklet 25 °C alá huzamosabb ideig.

egy nyári zápor hatása

A görbék menetén napi viszonylatban asszimetria figyelhető meg, a hajnali hőmérsékletek mindig alacsonyabbak a estinél, és a legmelegebb időszak pedig 14<sup>h</sup> körül<sup>39</sup> alakul ki. Ez a jelenség az épületek tájolásakor kap fontos szerepet, hiszen a nyugati homlokzatokon a legmelegebb időpontban jelentkezik a legnagyobb „naphőterhelés“ is.

35 Ilyen zápor figyelhető meg 1994. július 19-én is.

36 A legjellemzőbb időszaknak 1994. július 14 - 22. közötti időszak bizonyult.

37 A belső tér több mérési pontjának az átlagából számított érték.

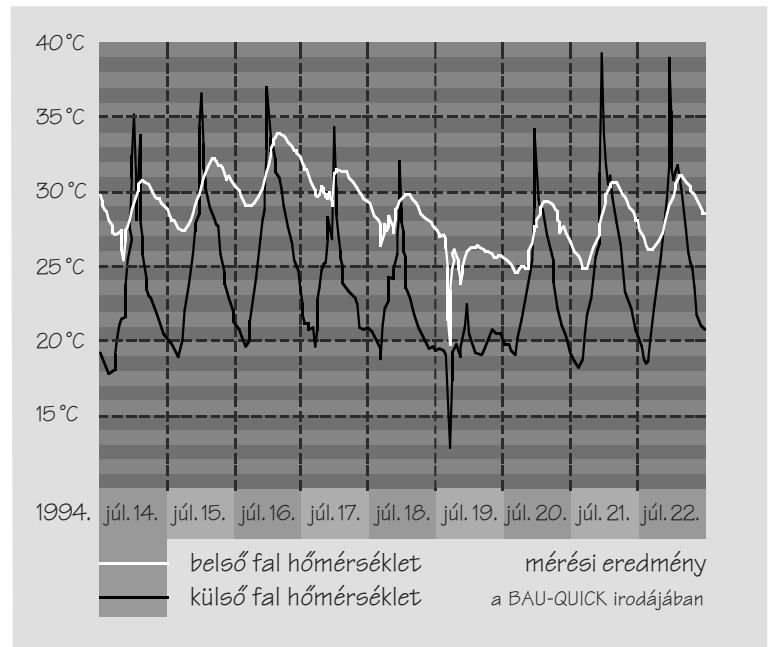
38 Az irodaház ablakait a munkavégzés befejezésével minden esetben bezárták, csak a tetőtérben hagytak szellőzési lehetőséget. Erre iroda lévén vagyoni védelmi indoklás adható.

39 A napsugarak délutánra tudják a levegőt kellően felmelegíteni.

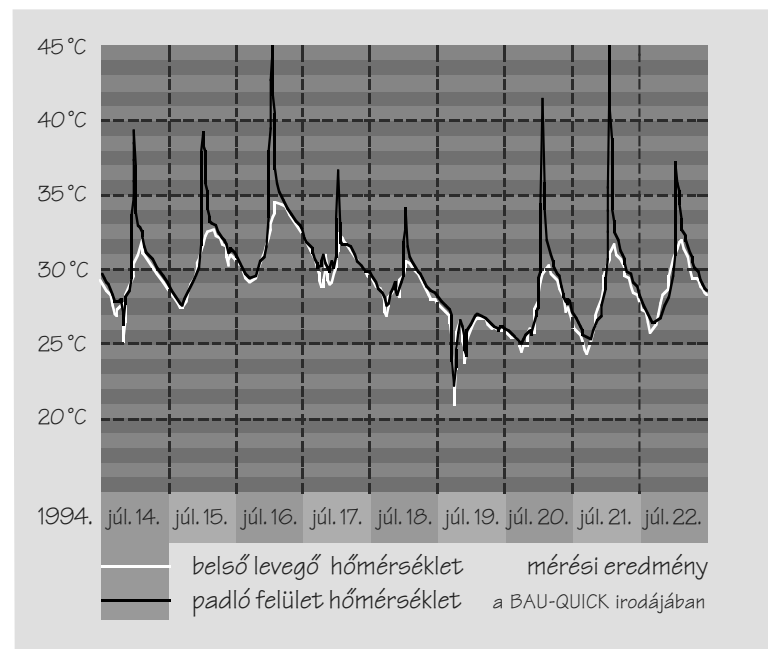
A szoba falának külső és belső oldali felületi hőmérsékletét (10. ábra) összehasonlítva az eltérések még markánsabban jelentkeznek. A külső oldalon a hőingás nagysága eléri a 15-20 °C értéket, a belső felületen ez 5 °C körülirek adódik. A helyiség falának és levegőjének<sup>40</sup> a hőmérséklete<sup>41</sup> gyakorlatilag nem tért el egymástól. A görbék menetében sem figyelhető meg fáziseltolódás. Ez a jelenség arra enged következtetni, hogy a falak tömege<sup>42</sup> nagyon kicsi, azokat gyorsan fel lehet melegíteni<sup>43</sup>.

Azok a belső felületek, amelyeket „közvetlenül“ érhet napsugárzás, sokkal jobban felmelegszenek. Ilyen felületként (11. ábra) az iroda padlóját (8. ábra) vizsgáltuk. Az eltérés azonban csak arra a rövid időre jelentkezett, ameddig a felületet napsugárzás érte. Ekkor azonban akár 45 °C -ra is felmelegedhetett. Ezt a hőmérsékletet azonban egyből „leadta“, amikor árnyékba került. A hirtelen ugrásfüggvény okaként a kis tárolótömeg a felelős.

A felületek felmelegedése természetesen az anyag színétől és minőségétől is függ<sup>44</sup>. A benapozott fehér falfelületeken<sup>45</sup> ez a jelenség kisebb mértékben jelentkezik, ahogy a padlószőnyeges irodában is. A felmelegedés a borult időszakban<sup>46</sup> nem jelentkezik. A közvetlen sugárzás kizárásának az egyik legegyszerűbb megoldása a különféle külső és belső árnyékolók használata lenne. Az eredmények így a hőtárolótömegek jelentősége mellett az árnyékolók használatának a fontosságára is felhívják a figyelmet.



10. ábra



11. ábra

40 A 9. ábra mutatja a léghőmérsékleteket.

41 Olyan belső falfelületet vizsgáltunk, amit közvetlen napsugárzás nem érhetett. A déli oldalon az ablaktáblák közötti mezőben szereltük fel az érzékelőket.

42 A 6. és 7. ábrán a falszerkezetek felépítése pontosan leolvasható.

43 Az irodák télen kis energiával és gyorsan felfűthetőek.

44 A felületek elnyelésére-visszaverődésére jellemző mutató az albedó.

45 Benapozott falfelületet is vizsgáltunk, a padló adatai azonban karakteresebbek.

46 1994. július 17-19-ig tartó időszak.

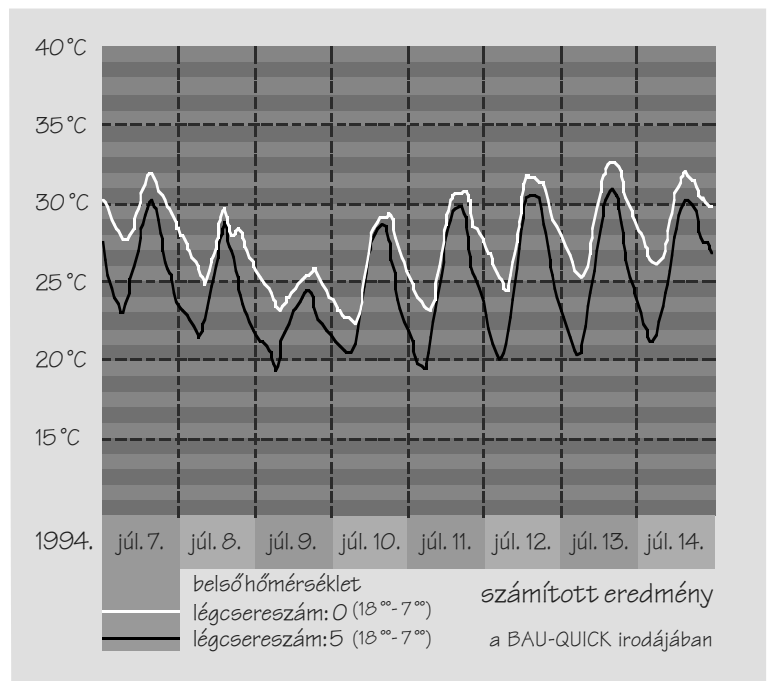


Az Európai Unió PASCOOL programja nemcsak mérési eredmények kiértékelésére született, hanem a vizsgálathoz kifejlesztett számítógépes program<sup>47</sup> ellenőrzését is magába foglalta. A program telepítésére a Budapesti Műszaki Egyetemen<sup>48</sup> került sor. Az épület adatbázisának a felvitele után különféle paraméterek<sup>49</sup> megváltoztatásával a belső térre vonatkozó szimulációkat készítettünk<sup>50</sup>. Az elkészült számítások közül grafikonon csak azokat mutatom be, amelyeken jelentős változások mutathatók ki.

*a program telepítése*

Az iroda működéséből következően az éjszakai<sup>51</sup> szellőztetésre csak nagyon kis gondot fordítottak, gyakorlatilag az ablakok mindig zárva maradtak. Ezért a modellezéskor kiemelt szerepet kapott a szellőztetés (12. ábra) hatásának<sup>52</sup> a vizsgálata. A szellőztetésnek az esti<sup>53</sup> időszakban van jelentősége, hiszen a kinti levegő hőmérséklete akkor jelentősen alacsonyabb a helyiség levegőjénél.

A grafikonokon megfigyelhető, hogy a helyiség léghőmérséklete a szellőztetés ideje alatt alacsonyabbá válik, azonban az esti periódus után ez a különbség nem marad<sup>54</sup> meg. A hideg levegővel átöblített szoba a számítás szerint azon-



12. ábra

-még ha elenyésző mértékben is- „hidegebb“, mintha elmaradt volna a szellőztetés. A mérések eredményeit figyelembe véve ez a különbség talán még túlzottan optimálisnak is tekinthető. A kis tömegek miatt nagyon rövid idő alatt felveszik a falak a levegő hőmérsékletét, illetve leadják azt, ezért ilyen különbség a nappali órákra nem várható.

A szellőztetés azonban javítja az éjszakai komfortérzetet és csak a csúcshőmérséklet kialakulására tűnik el a jótékony hatása. A délutáni -munka utáni- órák idejére pedig igen jelentős hőérzeti javulás érezhető. Így a nap 70%-ban mutatható ki a komfortérzet kedvező változása.

47 A program Unix rendszerre készült és olyan körülményesre sikeredett, hogy a telepítése és használata is programozót igényelt.

48 (1994.) Azóta Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

49 A dolgozók száma, falak anyaga, árnyékolók, légcsereszám paraméterei kerültek megváltoztatásra.

50 A program kezelését Szikra Csaba végezte.

51 A vagyonvédelem szempontjai voltak az elsődlegesek.

52 A szellőztetés mértékét a légcsereszámmal lehet jellemezni.

53 A modellezés során a 18<sup>00</sup>-7<sup>00</sup>-ig terjedő időszakban „szellőztettünk“.

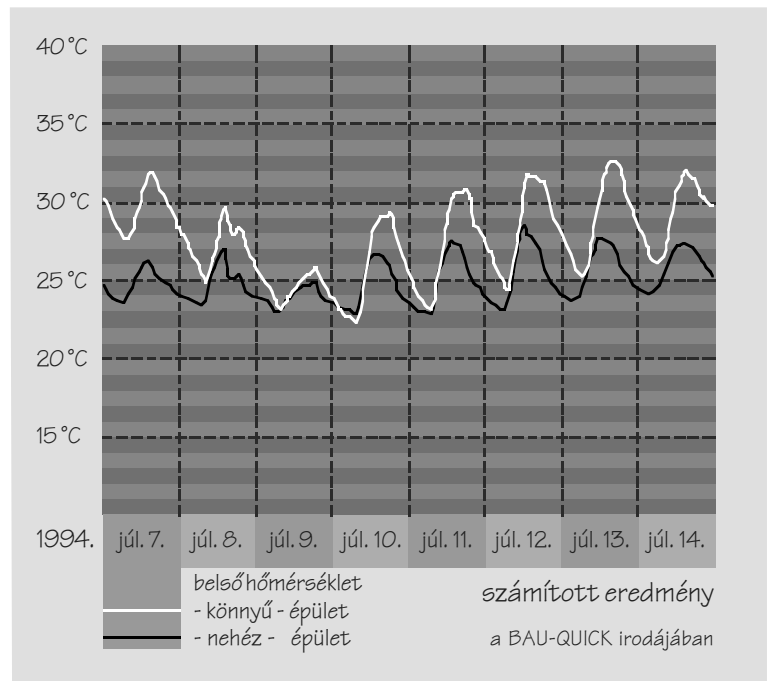
54 A nappali időszakban 1-2 °C eltérés adódik csak.



A mérés során a helyiség gyors hőmérsékleti változásai, valamint a túlzott felmelegedések okaiként a kis épülettömeg szerepelt feltételezett indokként. Ezért fontos a „tömeg“ szerepének (13. ábra.) megvizsgálása. A számítógépes modell lehetőséget adott arra, hogy a beírt épületjellemzők<sup>55</sup> közül egynek, vagy akár mindnek a paramétereit megváltoztathassuk. A vizsgálat során a falak és födémek szerkezetét „nehéz”<sup>56</sup> tömör, téglakonstrukcióra módosítottuk.

Az eredmények igazolták a tömeg jelentőségét a belső klíma kialakításában. Egy „nehéz” épület sokkal lassabban reagál a változásokra, kiegyenlítettebb a hőmérséklete. Ez a „lusta” viselkedés azonban azt is jelenti, hogy az épületet éjszakai szellőztetéssel nem lehet annyira lehűteni -nappal kevésbé melegszik fel-, a „meleg” egyenletesen jelentkezik. A kiemelkedő<sup>57</sup> csúcsok azonban nem jelentkeznek, és a szobák így komfortosabbak.

A tesztelés során megvizsgáltuk, hogy a lakók<sup>58</sup> száma hogyan változtatja meg a mérési eredményeket. A hőmérsékleti görbék egyértelmű emelkedést mutattak, azonban azok mértéke nem érte el az 1°C sem. Ez egy átlagos család esetében elhanyagolható.



13. ábra

A modellezés során a külső árnyékolók hatását is próbáltuk megvizsgálni. A program eredményei<sup>59</sup> azonban olyan kis különbségeket mutattak ki, hogy azokat nem lehet elfogadhatónak tekinteni. A számítási módszer feltehetően „nehéz” épületekre készült és egy ilyen kis tömegű épület esetében hibás eredményeket adott.

az árnyékolás hatása

Az „eredményben” megmutatkozhatott az is, hogy az épület olyan „karakteres” ablakokkal rendelkezik, amelyek árnyékolását csak részlegesen lehetett modellezni. A tetősíkban fekvő ablakok esetében csak belső redőnyt „használtunk”, így a számítás értelmezhető úgy is, hogy a felmelegedésért a tetőablakok -a százalékos arányuknál sokkal nagyobb mértékben - tehetőek felelőssé.

hibalehetőségek

Az árnyékolókra vonatkozó eredmények azonban további vizsgálatok szükségességét teszik indokolttá.

55 A rétegfelépítésig meg lehetett változtatni a szerkezeteket.

56 A 13. ábrán szereplő „könnyű” épület az eredeti favázás szerkezetet jelenti.

57 A maximumok jelentik a legtöbb problémát a hőérzet szempontjából. 30 °C fölé nem emelkedik a higanyszál görbéje.

58 A jelen esetben irodai dolgozók. Ez a mutató a használt berendezések -hőforrások- (monitorok, lámpák, számítógépek, hűtők) számával is arányos.

59 A különbség számszerű értékei maximum 2°C eltérést mutattak.



# Hőtárolóképesség

## Hőtárolás

### elméleti alapok

A referenciaépület vizsgálata alapján érdemes a „tömeg” illetve a hőtárolás szerepét részletesebben tanulmányozni.

Időben nem állandósult folyamatok esetében a rendszerbe belépő és onnan távozó áramok különbsége a tárolt energia<sup>60</sup> változásával jár. A tárolt hő megváltozása által okozott hőmérsékletváltozás (1. képlet) fordítottan arányos a rendszer tömegének és fajhőjének a szorzatával. A tárolt hőről mindig csak valamilyen szinthez<sup>61</sup> viszonyítva lehet beszélni, ezért a hőtárolóképesség alatt csak az „m.c” szorzatot értjük<sup>62</sup>. Az építőiparban használatos legtöbb anyag<sup>63</sup> fajhője közel azonos<sup>64</sup>, ezért számításnál csak a hőmérsékletváltozás és a tömeg fordított arányát veszik figyelembe<sup>65</sup>.

A gyakorlatban a napi periódust figyelembe véve a szerkezeteknek csak egy bizonyos zónája vesz részt a hőtárolási folyamatokban. A szabvány<sup>66</sup> ezt a zónát  $R \leq 0.15 \text{ m}^2\text{K/W}$  hővezetési ellenállás „mélységében” határozza meg. A szabvány különbséget tesz „nem szilikátbázisú”<sup>67</sup> anyagok esetében, ahol a „tömeg”  $C/0.8$  hányadossal szorzandó.

Ez a megfogalmazás nagyon nehezen követhető, hiszen sok modern építőanyagot nehéz besorolni, a gyártók azonban a legtöbb esetben közlik az adott szerkezet fajhőjét is. Így a szabvány által meghatározott „betonhoz” viszonyított hőtárolótömeget a 2. képlet [K.02] alapján<sup>68</sup> pontosan lehet számítani.

Az adott épületre nemcsak a szerkezetei és azok hőtárolóképessége a jellemző, hanem az egyes helyiségeinek a hőtárolótömege<sup>69</sup> is. A kiszámolt „burkoló tömeg”<sup>70</sup> alapján lehet az egyes helyiségek fajlagos hőtárolótömegét (3. képlet) meghatározni. Ez az a hőtárolótömeg, amely a „szoba” üvegezett határoló szerkezeteivel egyenértékű teljesen átlátszó nyílás felületegységére jut.

A hőtárolótömeg meghatározásakor az építőanyagokon kívül a bútorokat is figyelembe kell venni. Az üvegezett szerkezetek naptényezőjének a meghatározásakor a társított árnyékolószerkezetek is számításba veendőek. Feltételezve a mobil szerkezetek helyes használatát.

$$\Delta q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

1. képlet [K.01]

$q$  - tárolt hő [kJ]  
 $m$  - tömeg [kg]  
 $c$  - fajhő [kJ/kgK]  
 $t$  - hőmérséklet [K]

$$m = \frac{d \cdot \rho \cdot c}{0.84}$$

2. képlet [K.02]

$d$  - rétegvastagság [m]  
 $\rho$  - sűrűség [kg/m<sup>3</sup>]  
 $m$  - viszonyított tömeg [kg]

$$m_h = \frac{\sum A_i \cdot m_{ii}}{\sum A_{ij} \cdot N_j}$$

3. képlet [K.03]

$m_h$  - fajlagos hőtárolótömeg [kg/m<sup>2</sup>]  
 $m_{ii}$  - hőtárolótömeg felület <sub>$i$</sub>  [kg/m<sup>2</sup>]  
 $A_i$  - felület <sub>$i$</sub>  [m<sup>2</sup>]  
 $A_{ij}$  - transzparens felület <sub>$j$</sub>  [m<sup>2</sup>]  
 $N_j$  - naptényező felület <sub>$j$</sub>

60 A tárolt energia függvényében változik a hőmérséklet.

61  $\Delta t$  csak valamihez képest jelent hőmérsékletkülönbséget.

62 MSz-04-140-2:1991-2.2 § alapján csak a tömeg „m” szerepel

63 A faanyagok jelentenek csak jelentős különbséget.

64  $c \approx 0.84-0.95 \text{ kJ/kgK}$

65 A fa esetében  $c \approx 1.7-3.0 \text{ kJ/kgK}$  ezért favázis épületeknél nem engedhető meg.

66 MSz-04-140-2:1991-2.2.2 §

67 Ebbe a kategóriába tartoznak például a fa és a fém „típusú” anyagok.

68 Dolgozatomban ezt a képletet használom a hőtárolótömeg meghatározásakor.

69 MSz-04-140-2:1991-2.2.4 § alapján számítható.

70 Csak az előírt (R) réteggig, átfedés (válaszfal) esetében a szerkezet feléig.





A különféle épülettípusok hőtárolóképeségét elsősorban az épületszerkezeteik határozzák meg. A szerkezetek módosítása változtatja meg legkevésbé az építész által elképzelt koncepciót. Ennek megfelelően ilyen változtatást nagyon gyakran a kivitelező vagy akár a megrendelő<sup>71</sup> is végrehajt. A módosítások általában olcsóbb anyagok beépítését, illetve esetenként teljes rétegek elhagyását is jelenthetik. A különféle változtatásoknál szinte sohasem gondolják végig a hőtechnikai következményeket. A formák és anyagok sokféleségehez képest a különféle rétegfelépítésű kialakítások hőtárolóképesége nagyon kevés változatot takar.

## Külső falszerkezetek

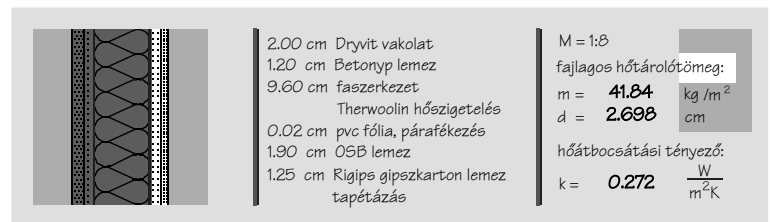
A legáltalánosabb külső falszerkezetre - favázás épület esetében - a (6. ábra) mutat<sup>72</sup> példát. Belső burkolatként egy gipszkarton lemezt erősítenek egy Betonyp<sup>73</sup> lapra. A szerkezet fajlagos hőtárolótömege  $m \approx 50 \text{ kg/m}^2$ . Ennek egy „modernebb“ változatában (14. ábra) a cementkötésű forgácslap helyett OSB<sup>74</sup> építőlemezt alkalmaznak a gipszkarton alatt. Ilyen szerkezeti kialakításkor azonban már alacsonyabb hőtárolótömeg adódik. Faházak esetében még a boronafal<sup>75</sup> jelent szerkezeti-  
leg (15. ábra) jelentős eltérést. Ez a megoldás a hőtárolás szempontjából<sup>76</sup> azonban nem hoz nagy különbséget. A boronafalas kialakítás eredményei egyben azt is jelentik, hogy a „fa“ 3 cm vastagságig<sup>77</sup> vesz részt a napi hőtárolási folyamatokban.

Az adatok értelmezésében segítséget nyújthat egy-egy hagyományos, „régí“ szerkezet összehasonlításaként. A 16. ábra kisméretű téglafalat, a 17. ábra vasbeton szerkezetű falat ábrázol. Ezek a falszerkezetek négyszer nagyobb hőtárolóképeséggel rendelkeznek a fentiekhez képest.

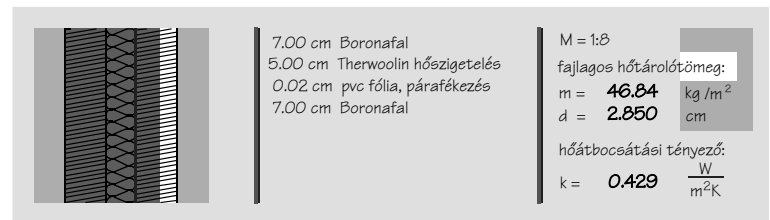
## Hőtárolás

### külső falak

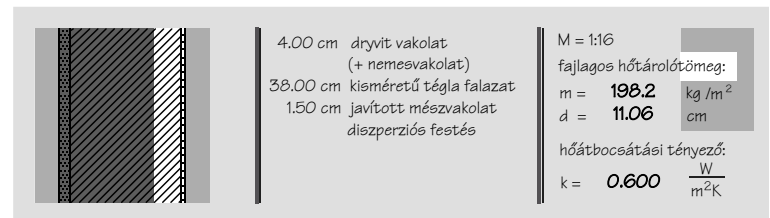
- $m$  - fajlagos hőtárolótömeg [ $\text{kg/m}^2$ ]  
 $d$  - a hőtárolásban ez a réteg vesz részt [cm]  
 - az ábrán fehér -  
 $k$  - hőátbocsátási tényező [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]



14. ábra



15. ábra



16. ábra



17. ábra

71 A módosításra szinte kivétel nélkül árcsökkenés miatt kerül sor.

72 A Referenciaépület falszerkezete. 10. oldal

73 cementkötésű faforgácslap

74 Az OSB lap anyagát tekintve forgácslap (1.9 cm vastag), de struktúráltága miatt nagyobb teherbíróképeséggel rendelkezik, építőlapként kiválóan alkalmazható (könnyű, vágható, szegezhető) szemben a Betonyp lappal.

75 Boronafalas kialakítással a magas ár miatt csak elvétve találkozhatunk.

76  $m \approx 47 \text{ kg/m}^2$

77 Nem is alkalmaznak 2.1 cm-nél vastagabb (gyalult deszka) faburkolatot.



A külső falak vizsgálatakor nem feledkezhetünk meg a tetőtérnek fontosságáról sem, hiszen jelentős szeletét képviselik a „favázás“ épületeknek. A térdfalak építéséhez két fő építőanyagot használnak az esetek legnagyobb százalékában, Porotherm (18. ábra) téglákat illetve Ytong (19. ábra) falazóblokkokat. Mindkét építési rendszerre jellemző a kitűnő hőszigetelőképeség és a könnyű falazhatóság. A hőtárolás<sup>78</sup> terén azonban egyik építőanyag sem múlja felül a favázás szerkezeteket, sőt még esetenként „rosszabbak“ is azoknál.

## Hőtárolás

### válaszfalak

tetőterek



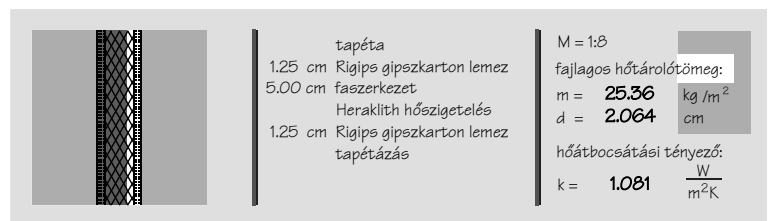
18. ábra

## Válaszfalak

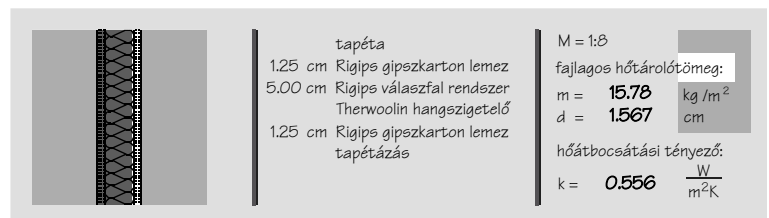
A referenciaépület esetében a belső válaszfalak (20. ábra) Heraklith elemekből épültek fel, amire gipszlapok kerültek. Gyakran alkalmazzák továbbá a (6. ábra) belső rétegrendjét is tartófalak esetében. A legáltalánosabb könnyűszerkezetes válaszfalra azonban a 21. ábra szolgál példaként. Ezt a szerelt falmegoldást régi épületek belső oldali, utólagos hőszigetelésekor<sup>79</sup> illetve térelválasztások építésére is használják. Az építési katalógusokban a dupla rétegű gipszkartonozásra is találhatunk példát, (22. ábra) azonban a magán-építkezéseken ezzel a megoldással csak elvétve találkozhatunk. Boronafalás válaszfal esetében a hőtarolóképesség a (15. ábra) szerint alakul.



19. ábra



20. ábra



21. ábra

A favázás épületek válaszfalai nagyon kis hőtarolóképességgel rendelkeznek, aminek az okai között a hibás építési szokások is szerepelnek. A válaszfalak kialakításakor elsődleges szempont az ár, minden mást maga mögé utasítva.



22. ábra

Összehasonlításként: egy kisméretű téglából épített falszerkezet (23. ábra) hőtarolóképessége legalább négyszer nagyobb, pedig ebben az esetben a hőtaroló zóna még át is nyúlna<sup>80</sup> a falszerkezet felező vonalán. Ilyen kisméretű téglafallal azonban új épületek esetében már nem találkozhatunk.

78 A „nehéz“ téglafalak (Porotherm, Ytong) esetében az építetők a valósnál sokkal nagyobb hőtarolóképességet tételeznek fel. Az igazi problémát azonban az jelenti, hogy a tervezők sincsenek tisztában a valós hőtechnikai paraméterekkel.

79 Utólagos hőszigetelés esetén egy párazáró fólia is beépítésre kerül.

80 Ilyen esetben a szerkezet felét kell számításba venni.



A „hagyományos“ tetőtér kialakításakor használt Porotherm válaszfal (24. ábra) meglepően jól<sup>81</sup> vizsgázik a vastagabb falazathoz képest. Az Ytong<sup>82</sup> azonban ugyanazt az eredményt (25. ábra)produkálja, megmutatva, hogy a vékony és a vastag fal-szerkezet között nincsen számottevő különbség.

## Födémszerkezetek

A födémek -közbülső szerkezeti elemként- kettős „természetűek“, hiszen az egyik oldalon padlóként szerepelnek, a másikon pedig mennyezetként funkcionálnak. A mai építési „divat“ szerint a szobák parketta vagy padlószőnyeg<sup>83</sup> burkolatot kapnak, míg a konyha és a mellékhelyiségek mázas kerámia burkolattal készülnek. A leggyakoribb parketta típus, amit a lakók beépítenek, műanyag bevonatú, farostlemez<sup>84</sup>, ami habalátétre kerül. A hagyományos szalagparketta is olyan vékony rétegben (26. ábra) épül -szintén alátéttel-, ami hőtechnikailag csak kis hőtároló értéket képvisel.

A tesztelt BAU-QUICK épület födém-szerkezete a 7. illetve a 27. ábra felépítését követi. Mennyezetként a szerkezet a külső falszerkezetével (6. ábra) azonos rendszerű. A habalátétes szőnyeg használatával minden további hő-tároló réteg elszigetelődik és a szerkezet fajlagos hőtároló értéke nagyon alacsony lesz.

Fafödémek esetében is találkozhatunk aljzatbeton beépítésével<sup>85</sup>, ami hidegpadrós lakószobákban is elképzelhető lehetne. Ilyen kialakítás esetén a szerkezet a „vasbeton“ födém hőtechnikai paramétereivel azonos (28. ábra).

## Hőtárolás

### födémszerkezetek



23. ábra



24. ábra



25. ábra



26. ábra



27. ábra

81 A belső fal esetében már -már az állékonyság volt az elsődleges szempont a hőszigeteléshez képest. Ez tömörebb falazóelemet eredményezett.

82 Az Ytong ugyanabból az „anyagból“ készíti a falazatait, a különféle teherbírási értékekhez nem párosul jelentősen módosult hőtechnikai érték.

83 A lakószobák csak abban az esetben kapnak hidegburkolatot, ha a szoba padlófűtéssel készül. A padlófűtésnek azonban sok ellenzője akad a lebegő por allergiára hivatkozva.

84 A hagyományos szalagparkettánál olcsóbb és tartósabb megoldást jelent.

85 Favázás épület esetében aljzatbetonozásra a vizes helyiségekben kerülhet sor, ha statikailag nem jelent problémát a többletterhelés.



A tetőtereknél alkalmazott padlórétegek megegyeznek az eddig tárgyaltakkal. A „téglaház“ mennyezetének kialakítására pedig a 29. ábra<sup>86</sup> mutatja be a szinte kivétel nélkül alkalmazott Porotherm födémrendszert.

## Hőtárolás

### tetőszerkezetek

## Tető kialakítás

A lábazati fal kialakításától eltekintve a favázás és a „hagyományos“ épületek tetőszerkezeteinek rétegrendje megegyezik. Ilyen kialakításra mutatott példát a 7. ábra, ahol a Betonyp lap beépítése már kivételnek tekinthető a hazai gyakorlatban. A ma épült tetőszerkezetek csak egy réteg gipszkarton burkolatot jelentenek (30. ábra). Kivételes esetekben a gipszkartont fa lambéria<sup>87</sup> helyettesítheti (31. ábra) a belső megjelenés igényeinek függvényében. Mivel a lambéria is nagyon vékony réteget jelent, a két megoldás azonos értékűnek tekinthető. Ha a csomópont kialakításakor a tulajdonos nagyon körültekintően jár el és dupla gipszkarton (22. ábra) réteget alkalmaz, akkor sem jelentős<sup>88</sup> a többlet hőtárolókapacitás.

## A hőtárolótömeg növelése

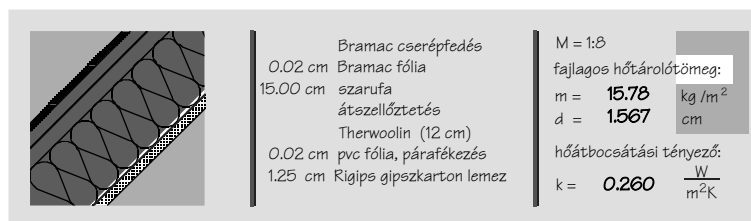
Egy adott szerkezet hőtárolóképeségének a növelésére a legegyszerűbb megoldást a rétegek vastagítása<sup>89</sup> jelentheti. Ennek a megoldásnak azonban nagyon sok korlátozó tényezője van. Fa lambéria burkolatot nem készítenek a gyalutl deszka vastagságánál (32. ábra) nagyobbra, de hőtárolás miatt sem indokolt 3 cm-nél vastagabb<sup>90</sup> réteget beépíteni. A gipszlapok számát növelve (33. ábra) szintén érhetünk el enyhé javulást, de a költségek megugrása megkérdőjelezi az eljárásunk indokoltságát.



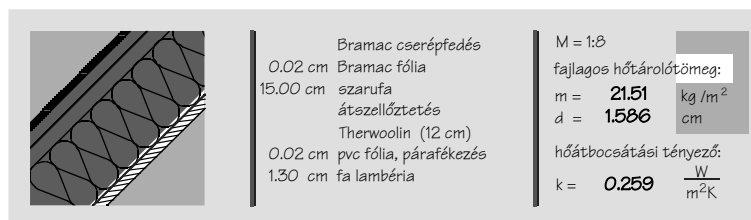
28. ábra



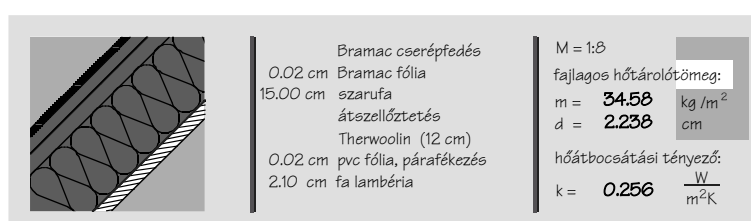
29. ábra



30. ábra



31. ábra



32. ábra

- 86 A hőtároló réteg tömegének és vastagságának a számításakor figyelembe vettem a gerendák és béléslemek közötti különbséget is.
- 87 A lambéria alkalmazásakor nagy gondot jelent, hogy a sávok pontosan illeszkedjenek, hiszen az illesztés dekorációként is funkcionál.
- 88 Az építési költség azonban jelentősen változik.
- 89 Gipszkarton lemezből létezik a bemutatottnál vékonyabb (olcsóbb) is, amivel szintén találkozhatunk tetőtérbeépítések esetében. Ilyenkor a hőtároló értékek tovább csökkennek.
- 90 A 15. ábra szerint kialakuló rétegvastagság miatt.



További réteg beépítésével (34. ábra) azonban akár ellenkező hatást is elérhetünk, hiszen az egyes rétegek hőátrolóképessége más és más, így elszigetelhetünk egy jobban<sup>91</sup> működő anyagot. Ez indokoltá tehetné, hogy a „jobb“ anyagokat alkalmazzuk nagyobb vastagságban, amire elméleti példát a 35. ábra mutat. A vizsgált paraméter természetesen javult, de hatalmas súly- és ártöbbletet eredményezve.

A hőátrolótömeg növelésére a - példák alapján - a legkevésbé hatékony és legdrágább megoldása az egyes rétegek megvastagítása.

## Nehéz szerkezetek

Az így elérhető eredmények eltörpülnek a „nehezebb“ szerkezetek alkalmazása mellett. Nagyon jelentős javulás érhető el aljzatbetonra épített hidegburkolat használatával<sup>92</sup>, illetve kisméretű téglaválaszfal beépítésével.

Ezek a megoldások „tégla“ épületek és tetőterek esetében nem jelentenek szerkezeti problémákat. Favázas épületeknél az aljzatbeton statikai kérdéseket vet fel, a tömegfalak alkalmazása pedig épületszerkezeti problémákat jelent. A koszorú hiánya miatt egy falszerkezet rögzítése nehézkes, az építés során pedig ügyelni kell, hogy a száradó falazat nedvességtartalma ne tegyen kárt a fa és hőszigetelő anyagokban.

Ha egy épületbe tömegfal beépítését tervezzük, akkor azt igen nagy gonddal kell előkészítenünk. Nem választhatunk olyan helyet, ahol a lakók a falazatot vélhetően teljes egészében bútorról fogják eltakarni. A mai bútorok<sup>93</sup> forgácsolap alapanyagból készülnek, ami  $m \approx 17 \text{ kg/m}^2$  fajlagos hőátroló értéket jelent. Ez az érték az egyrétegű gipszkarton paraméterével is megegyezik, így egy „kistömegű“ tetőtérbe a bútorok felület növelése révén akár javítják a komfortérzetet. A bútorok használata egy kisméretű téglafal előtt azonban teljesen elszigetelheti azt. Hasonló probléma jelentkezik egy hidegpadrólóra fektetett szőnyeg<sup>94</sup> esetében, ami megkérdőjelezheti az aljzatbeton létjogosultságát is.

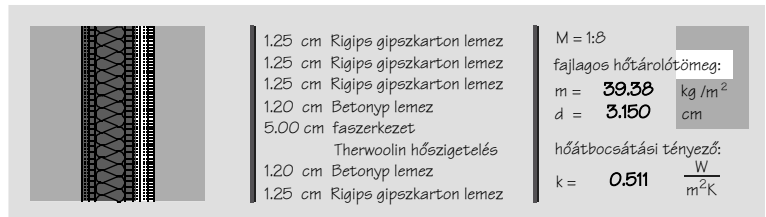
- 91 A betonyp lap hőátrolóképessége azonos rétegvastagság esetében kétszerese a gipszlapénak.
- 92 A padlófűtés használata azonban sokak szemében nemkívánatos, az egészségügyi szempontokat figyelembe véve vizsgálatokat kellene végezni. A hidegburkolat használatának nem padlófűtéses szobában nincsen értelme.
- 93 A szekrények, polcok, asztalok szinte sohasem készülnek tömör faszerezettel, még a legigényesebb megoldás is furnérozott bútort jelent.
- 94 A hidegpadrólóra a tapasztalataim alapján minden lakásban kerül szőnyeg, ami a szoba felületének a 2/3-át beborítja.

## Hőátrolás

a tömeg növelhetősége



33. ábra



34. ábra



35. ábra

bútorok szerepe



## Helyiségek fajlagos hőtárolótömege

A szabvány<sup>95</sup> a helyiségek fajlagos hőtároló értékét egyértelműen meghatározza a nyári körülményekre. Intenzíven szellőztethető<sup>96</sup> szobák esetében  $m > 3000 \text{ kg/m}^2$  követelményt<sup>97</sup> fogalmaz meg. A téli időszakra<sup>98</sup>  $m > 2000 \text{ kg/m}^2$  a feltétele a fűtés és szolár<sup>99</sup> nyereség hasznosulásának.

A különböző módon épített lakóházak összehasonlítására egy-egy tipikus szobát határoztam meg.

A tetőtéri szoba alapterülete  $12 \text{ m}^2$ , ami a teljes<sup>100</sup> vetületet jelenti. A parapet 90 cm magas, a belmagasság pedig 2.70 m. A  $45^\circ$ -os tetőben két VELUX<sup>101</sup> ablakot helyeztem el.

A másik „emeletközi“ szoba alapterülete  $12 \text{ m}^2$ , a belmagassága szintén 2.70 m. A szobába két SOFA dupla, hőszigetelő faablakot<sup>102</sup> „építettem“.

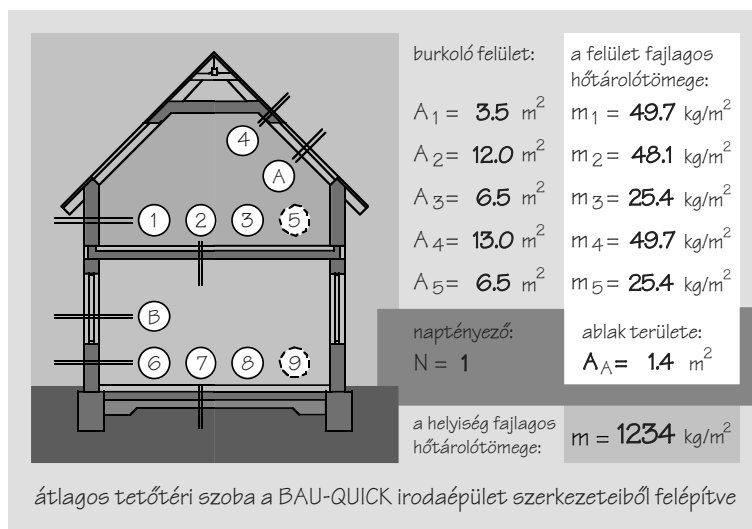
Mindkét esetben az előírásnál nagyobb ablakot választottam<sup>103</sup> az építési és tervezési tapasztalataim alapján. Az így meghatározott peremfeltételek esetében a 36. ábra a mért referenciaépület tetőtéri szobáját mutatja be, a 37. ábra pedig egy földszinti iroda kialakítását szemlélteti. Mindkét esetben a követelmény alatt marad a hőtárolóképesség. Ez akkor sem változna, ha a minimálisan beépíthető ablakokat választom, ekkor ugyanis  $m \approx 1650 \text{ kg/m}^2$  érték adódik mindkét esetben.

A kialakítások csak  $N=0.4$  naptényező esetében megfelelőek.

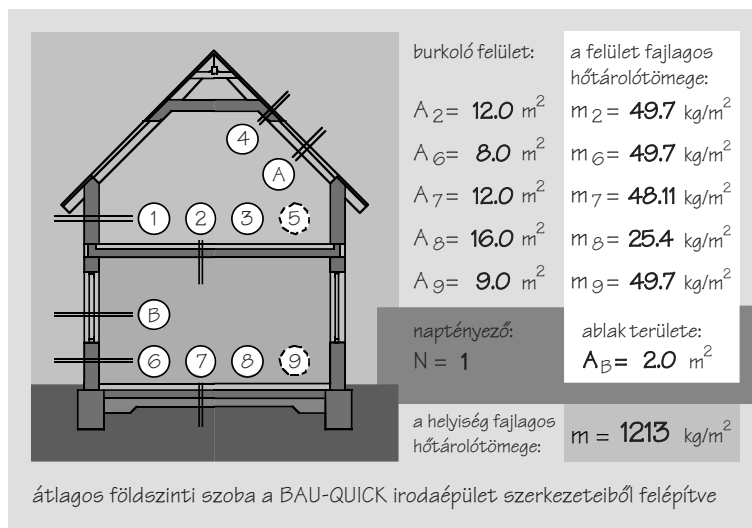
## Hőtárolás

### fajlagos hőtárolótömeg

az adott felülethez tartozó hőtároló tömeg (felület fajlagos hőtárolótömege)



36. ábra



37. ábra

95 MSz-04-140-2:1991 4.3.1 §

96 Komfort szempontjából csak a lakószobákat vizsgálom, azoknál a szellőztethetőség pedig előírás. A használat során természetesen a lakókra ez nem kötelező érvényű.

97 Ez az érték északi tájolású helyiség esetében  $m > 1500 \text{ kg/m}^2$ -re csökken. A vizsgálat során azonban -irányultság nélkül- a szigorúbb előírást kell alkalmazni.

98 MSz-04-140-2:1991 7.5 §

99 Az árnyékolókat a téli időszakban nem célszerű figyelembe venni.

100 A hasznos alapterület  $9 \text{ m}^2$ , itt a belmagasság 1.9 m-nél magasabb.

101 Az ablakok mérete 78/140, ez az előírásnál (1:8) egy kis mértékben nagyobb.

102 Az ablakok mérete 90/150.

103 Az eltérés 30%. Az ablakok kiválasztásakor a „szokásos“ méreteket használtam.



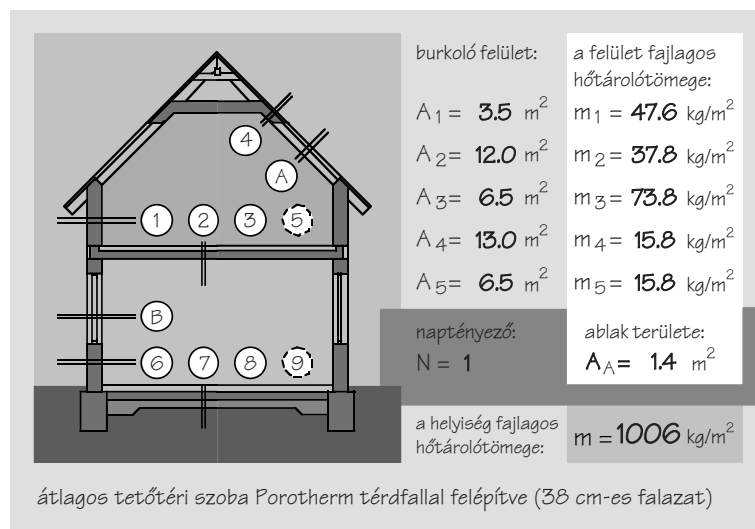
Egy favázás épület bemutatása után indokolt, hogy egy tetőteret is megvizsgáljunk. A 38. ábra egy Porotherm térdfallal kialakított beépítést ábrázol. A vizsgálat során az (5) jelű falszerkezetet szerelt konstrukciónak választottam, ami gyakran előfordul belső térelválasztásként. A helyiség fajlagos hőtárolótömege nagyon alacsonynak adódott, az előírások betartásához  $N=0.3$  naptényező<sup>104</sup> használatára lenne szükség.

Ha a szerelt válaszfalat kisméretű téglafalra<sup>105</sup> cserélem,  $m \approx 1600 \text{ kg/m}^2$  értéket kapok eredményül. A hidegpadlós, szőnyeg nélküli lakószoba annyira ritka, hogy hiába adna jobb eredményt, nem érdemes figyelembe venni.

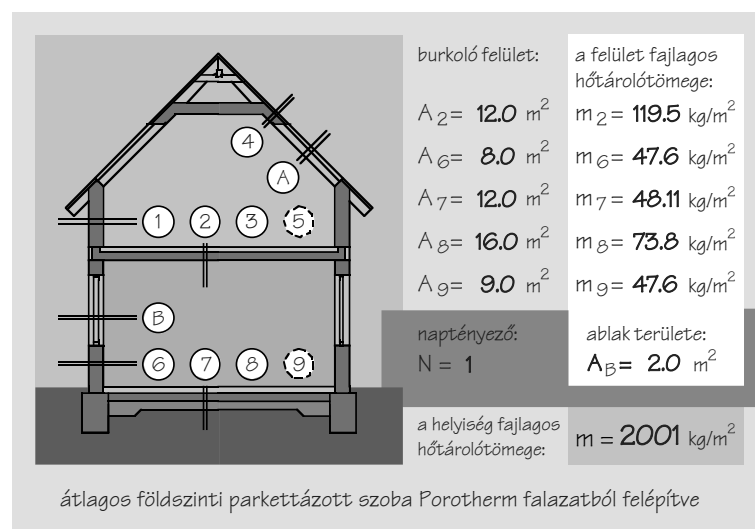
Mivel a Porotherm falszerkezetek is kis hőtárolóképesseggel rendelkeznek, tanulságos egy földszinti (39. ábra) szoba kiszámítása is. Az eddig taglalt épületek közül itt teljesül elsőként az  $m > 2000 \text{ kg/m}^2$  téli feltétel. A nyári körülményeknek azonban ebben az esetben sem felel meg árnyékolás nélkül a helyiség. Itt is megvizsgálható a faltömeg növelés hatása, ha a (9) jelű válaszfalat kisméretű téglafalra cserélem. Ebben az esetben  $m \approx 2400 \text{ kg/m}^2$  érték adódik.

Az eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy Porotherm építőelemek alkalmazásával sem a földszinti, sem a tetőtéri szobák nem elégítik ki a nyári követelményeket árnyékolók alkalmazása nélkül. A téli előírásokat<sup>106</sup> pedig a tetőterekben nem lehet biztosítani. Kedvezőbb „tömögű” a Porotherm rendszeren kívüli szerkezetek beépítésével a helyiségek vizsgált paraméterei javíthatók, de a megkívánt szintet nagyon nehéz elérni.

A leírt szerkezeteknél kedvezőbbet<sup>107</sup>, de kedvezőtlenebbet<sup>108</sup> is lehetett volna választani.



38. ábra



39. ábra

104 Ez tetőtéri ablak esetében teljesen leengedett külső vászon árnyékolót jelent. Dr. Szabó Gyula: Üvegezések és árnyékoló szerkezetek naptényezője. Épületgépészet 1971, I.

105 Nem a legnagyobb falfelületet változtatom.

106 A fűtés hasznosulására vonatkozóan.

107 A hidegburkolat alkalmazásakor a földszinti szobában  $m \approx 2600 \text{ kg/m}^2$ , ugyanez kisméretű téglafallal kombinálva:  $m \approx 2990 \text{ kg/m}^2$

108 Padlószőnyeg és vékonyabb gipszkarton alkalmazásával a tetőtér hőtárolása jelentős mértékben rontható tovább.



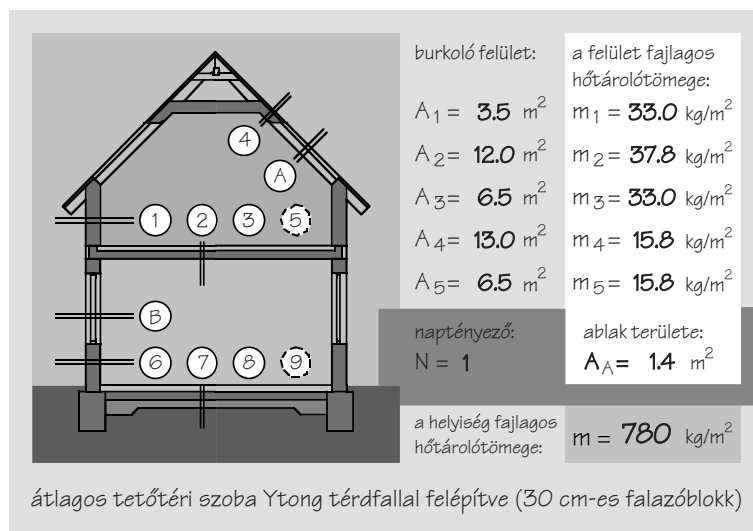
A „hagyományos“-nak mondott Porotherm téglához képest az Ytong modernebb falazóelemnek számít. Sokan alkalmazzák jó hőszigetelése, könnyű alakíthatósága miatt. Megfelelő módon rakva kevesebb vakolatot<sup>109</sup> igényel, akár vakolat nélkül is tapétázható. Tetőtérben alkalmazva (40. ábra) ez a szerkezet produkálja a legkedvezőtlenebb adatokat.

A szerkezet az előző példák alapján javítható, de a megkívánt értékeket elérni nem lehet. Hasonló eredményre vezet egy földszinti szoba (41. ábra) vizsgálata is, ahol a mennyezet<sup>110</sup> beton szerkezete javít csak valamit az értékeken.

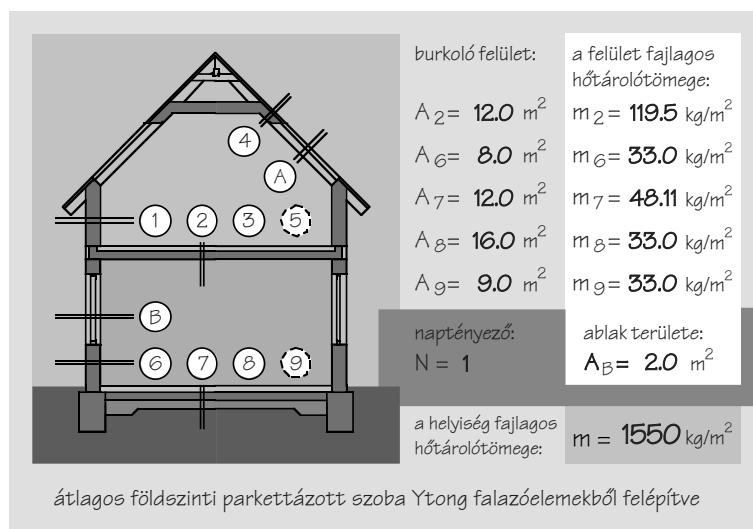
A három bemutatott építési mód hőtechnikailag nagyon közel áll egymáshoz. Az egyes szobák hőtárolótömege a szerkezetek módosításával akár  $\pm 500$   $\text{kg/m}^2$  értékig változtatható, ennél jelentősebb változtatásra azonban már csak a teljes csomópontok cseréjével nyílik mód.

Az összehasonlításnak nem az a legfontosabb eredménye, hogy a favázás épület a várt értékeket szolgáltatatta<sup>111</sup>, hanem hogy a többi építési mód ilyen „gyengén“ szerepelt. Ez nagyon komoly felelősséget ró a tervezőkre, hiszen egy faháznál odafigyelnek a nyári komfort fontosságára, de egy „téglaháznál“ az esetleges problémák fel sem vetődnek.

Az eredmények ismeretében szükséges lenne a közvélemény téves vélekedését is megváltoztatni, bár az építési piac szereplőinek ez nem érdeke. Erre a mammutcégek mellett nagyon kicsi az esély, pedig nem az a végkövetkeztetés, hogy az adott építőanyag<sup>112</sup> „rossz“, hanem mindössze annyi, hogy a tervezésnél az adott tulajdonságokat figyelembe kell venni, nagyobb szerepet kellene szánni például az árnyékolószerkezeteknek, valamint a kisebb ablakfelületek használatának.



40. ábra



41. ábra

109 A vakolat kétszer „nehezebb“ az Ytonghoz viszonyítva, vagyis a vakolat elhagyása ront a szerkezet hőtárolóképességén.

110 A piacon kapható „hungarocell“ profilírozott álmennyezeti elemek beépítése „rossz“ tetőtérre alakíthat egy földszinti szobát is.

111 Érdekes, hogy nem a favázás épület szerepel a „legrosszabb“ eredménnyel.

112 Az építési piac minden résztvevője hasonló szerkezeteket gyárt. Kiemelhettem volna a Balaton téglát, a Rába téglát, stb...





A tömeg „növelésére“ lehetőséget jelent a fázisváltó<sup>113</sup> anyagok felhasználása is. Természetesen az anyagok többségének meg lehet változtatni a halmazállapotát, de az építőipar számára csak azok kerülnek számításba, amelyek szobahőmérsékleten teszik mindezt. A kiválasztott anyagnak ezenkívül meg kell felelnie egy sor egyéb követelménynek<sup>114</sup> is, hogy az felhasználható lehessen.

A fázisváltó anyagok használata azért kecsegtető, mert az olvadás nagyon sok energiát igényel, az olvadáshő százszorosa is lehet a fajhő értékének. Így jelentős súlynövelés és szerkezet vastagítás nélkül is lehet fajlagos tömegnövekedést elérni. Az energiátárolás (felszabadulás) azonban csak egy bizonyos hőmérsékleten<sup>115</sup> történik, ez azt jelenti, hogy hőtárolás szempontjából csak egy szűk intervallum számít. A fázisváltó anyagokat általában hőstabilizálásra<sup>116</sup> illetve fűtésre használják.

Mivel a nyári „túlmelegedés“ problémájára keresek megoldást, olyan anyagra van szükség, aminek az olvadáspontja  $t \approx 25^\circ\text{C}$  körülnek adódik. A lehetséges anyagok közül én a Polyethylenglycol<sup>117</sup>-t (P.E.Gl.) találtam megfelelőnek.

Kísérleteket végeztem Polyethylenglycol 600 és 1000-rel. A fenti számok az anyag polimerizációs számát jelölik. Minél nagyobb ez a mutató, annál magasabb az anyag olvadáspontja<sup>118</sup>. A polimerizáció foka azonban kémiaiilag változtatható, ez elméletileg lehetőséget jelent arra, hogy akármilyen hőmérsékletre „beállítsuk“ az anyagot.

A fázisváltó anyag vizsgálatára egy lapszerkezetet alakítottam ki. A vizsgált szerkezet méhsejt alakúra préselt farost lap volt, amire vékony farostlemez került. A teljes lapszerkezet 2.5 cm vastag, a fázisváltó anyag pedig a sejteket töltötte<sup>119</sup> ki, 50%-át adva a teljes térfogatnak. A lap álmennyezetként lett tervezve, azonban kivitelezési okok miatt csak egy 10x10 cm-es elemet készítettem el.

$$c_{\text{beton}} = 0.84 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{\text{beton}} = 1.8 \text{ kJ/dm}^3\text{K}$$

$$L_{\text{olP.E.Gl.}} \approx 150 \text{ kJ/dm}^3$$

$$t_{\text{o,P.E.Gl.600}} \approx 28^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{o,P.E.Gl.1000}} \approx 35^\circ\text{C}$$

*álmennyezeti elem*

113 Régebbi elnevezésként látens hőtárolóként ismert a fogalom.

114 Nem lehet mérgező, robbanásveszélyes, gyúlékony, stb...

115 A valóságban az anyagok inkább lágyulnak, kristályosodnak és az „olvadáspont“ is inkább egy szűk hőmérséklettartományt jelent.

116 A legelső próbálkozások „olcsó“ éjszakai árammal felfűtött fázisváltó anyagokkal történtek. Ezeknek a fázisváltási hőmérséklete  $30\text{-}60^\circ\text{C}$  körüli. Ebben az esetben fűtési rendszer részét képezik, a hőstabilitáshoz használt fázisváltók azonban csak a hőkomfort céljait szolgálják, így nehezebb azokat a megrendelőkkel elfogadtatni.

117 Viaszszerű, szagtalan, fehér anyag.

118 Nincsen éles határ a folyékony és szilárd halmazállapot között, a viaszhoz hasonlóan meglágyul és olvad fel. Ezért nem olvadáspontja, hanem lágyuláspontja van.

119 Minden kis töltet vákumzárt fóliába került.



A vizsgált álmennyezeti elem egyenértékű fajlagos hőtárolótömege számítással  $m \approx 300 \text{ kg/m}^2$ -nek adódott. A szám adatok alapján ideális megoldásnak tűnhet egy ilyen épületszerkezet beépítése, például a tetőtér ferde és mennyezeti elemeibe.

Az első problémát az „ideális“ olvadáspont ( $25^\circ\text{C}$ ) jelenti, hiszen a referenciaépület eredményei alapján a belső falak hőmérséklete (10. ábra) mindig ezen érték felett maradt. Intenzív éjszakai szellőztetés mellett (12. ábra) ez áthidalhatónak tűnik, bár a kis hőmérsékletkülönbség miatt a fázisváltás nagyon hosszú<sup>120</sup> ideig tart. A szellőztetés csak abban az esetben jelent kellő megoldást, ha a szerkezetet át lehet „mosni“ a hideg levegővel. A túlzott légmozgás azonban már kellemetlen huzat érzetet kelt és a lakók bezárnák az ablakokat. A burkolóelem felső oldali átszellőztetése olyan épületszerkezeti gondot jelent, amire csak nagyon költséges megoldásokat lehet találni.

*olvadáspont*

*szellőztetés*

A látens hőtároló „nehéz“ szerkezetűvé alakítja az épületet (13. ábra), a hőingás csökken, a kis hőmérsékletkülönbség azonban nem indítja be a fázisváltást, ami a hőtárolókéesség csökkenéséhez vezet. Ez a körforgás olyan bonyolulttá teszi a folyamatokat, amire csak kísérleti úton lehet megoldásokat keresni. Ilyen mérés elvégzésére azonban anyagi okok miatt nem nyílt módom.

*kis hőingás*

A lakóterekbe álmennyezeti<sup>121</sup> elem helyett belső burkolatra lenne szükség. Burkolóanyag építőipari felhasználására csak abban az esetben látok esélyt, ha a kialakított szerkezet önhordó, nem igényel alátét szerkezetet<sup>122</sup>, burkolható, vágható és szegezhető is egyben. Az illesztések hornyolt kialakítása jó megoldásnak tűnik, a vágási- és szegezési pontokat pedig jelölni lehetne a lapokon. Ezeknek az igényeknek a kielégítése egyben a hőtároló töltet csökkenését és az ár növelését jelentik. Ilyen termék piacra kerüléséhez nagyon jelentős tőkére, reklámra és nem utolsósorban igényre lenne szükség.

*piacképes burkolólap*

A kiválasztott anyag 1 kg-ja jelenleg  $\sim 10.000$  Ft, aminek ipari gyártás esetén csökkennie kellene. Az igény és ár kölcsönhatásából képződő fogyasztói ár ma megjósolhatatlan. A jelenlegi áron nincsen értelme piaci terméket gyártani.

*költségek*

A nyári „tömeg“ növekedés nem oldja meg a téli szoláris hasznosulás problémáját. Ebben az esetben  $20^\circ\text{C}$  körüli fázisváltó használatára lenne szükség, ami megoldható, ha a lapszerkezetbe ilyen anyagot is építünk. Ez a megoldás csökkentené a nyári eredményeket  $m \approx 150 \text{ kg/m}^2$ -re, ami már hagyományos építőanyagokkal is teljesíthető a költségek töredékéért.

*hagyományos építőanyagok*

120 Elképzelhető, hogy egy éjszaka alatt a teljes töltet nem is dermed meg, ami nagyon lerontja az eredményeket.

121 Az építőlap csak megfelelő esztétikus formában piacképes. A modul méretét és változatosságát is szükséges megoldani.

122 Közvetlenül a szaruzatra szegélhető.



A vizsgált épülettípusok nyári hőkomfortját elsősorban mégsem a felhasznált építési anyagok és szerkezetek, vagy a különféle hűtési stratégiák határozzák meg, hanem az éghajlat különböző elemei. Az épület csak reagál a kinti időjárási viszonyokra a szerkezetei függvényében. A referenciaépület mérésekor a nyári hőmérsékletekre már láthattunk példákat, azonban érdemes a vizsgálatokat kiterjeszteni a napsugárzási adatokra is, hiszen az ablakfelületre érkező energia döntően hat a helyiség hőkomfortjára.

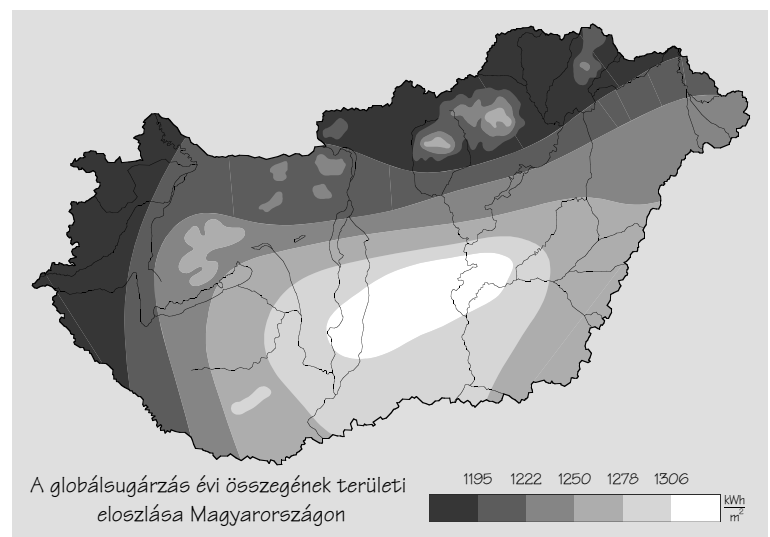
A napsugárzás energiahozamát a sugárzás intenzitásával ( $W/m^2$ ) határozzuk meg. A Napból a Földre érkező sugárzás mennyisége állandónak tekinthető ( $G_{sc}$ ).<sup>123</sup> Azt azonban, hogy egy földi felületre ebből mennyi érkezik, nagyon sok tényező befolyásolja. Függ a sugárzás légkörben megtett útjától, a légkör állapotától és a felület beesési szögétől is, vagyis a földrajzi helytől, a felület tájolásától és a vizsgálat időpontjától. Ezen paraméterek hatását szeretném a következőkben jellemezni.

A sugárzás egy része párhuzamos nyalábok (direkt sugárzás) formájában, egy másik része a légkör részecskéiről visszaverődve (diffúz sugárzás), egy harmadik része pedig a környezetről visszaverődve (reflektált sugárzás) érkezik. A napsugárzás energiahozamának jellemzésére mindhárom komponenst használjuk.

A vízszintes felületre érkező teljes sugárzást globál sugárzásnak nevezzük. Egy időegység alatt a felületre érkező sugárzási energiát a besugárzás ( $I$ ) ( $kWh/m^2$ ) jellemzi. A sugárzás intenzitása területileg változik, hazánkban (42. ábra)<sup>124</sup> sem tekinthető egységessnek. Az egyes épületek tervezésekor, energiamérlegének számításakor a különbségeket célszerű figyelembe venni.

A nyári sugárzási viszonyok vizsgálatához azonban nem elég az összbesugárzás ismerete, az adatokra bontásban<sup>125</sup> és óráközönként van szükség. A hőtechnikai szabvány<sup>126</sup> tartalmazza a nyári tervezési értékeket, a vizsgálataimhoz azonban a havi különbségek ismeretére is szükség volt. Ezek az adatok a hazai szakirodalom<sup>127</sup> alapján összeállíthatóak.

$$G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$$



42. ábra

123 A World Radiation Center által javasolt érték. (sc-solar constant)

124 Zöld András: Energiatudatos Építészet (1999.) alapján.

125 Direkt, diffúz és reflektált elemek szerint.

126 MSz-04-140-2:1991 14. táblázat.

127 Dr. Szabó Gyula, Dr. Tárkányi Zsuzsanna: Napsugárzási adatok az építőipari tervezés számára, Budapest (1969.)

Major György: A napenergia hasznosítás meteorológiai megalapozása Magyarországon, ÉVM-ÉTI, Budapest (1985.)



A napsugárzási adatok bemutatására az izopléták használatát tartom a legszemléletesebbnek. Budapest esetében a vízszintes felületre érkező globálsugárzás menetére a 43. ábra<sup>128</sup> mutat példát. Az ábráról a napkelte és napnyugta (0%) időpontja is leolvasható. A legnagyobb sugárzási értékek a nyári hónapokra koncentrálnak. Télen még a legmagasabb értékek is csak a nyári maximum 20-30%-át érik el.

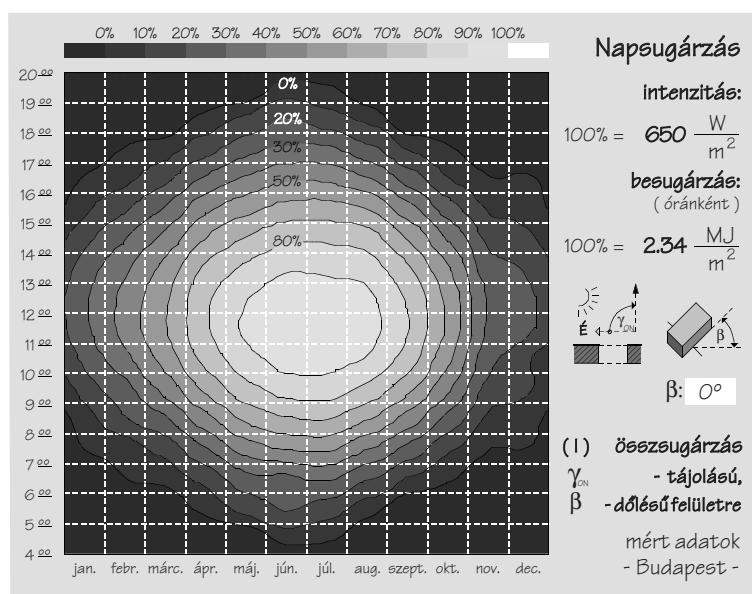
Hőérzet szempontjából a direkt sugárzást (44. ábra) érezzük a legfontosabbnak, pedig az a teljes sugárzási összenergiának nagyjából csak a felét adja.

### Számítási lehetőségek

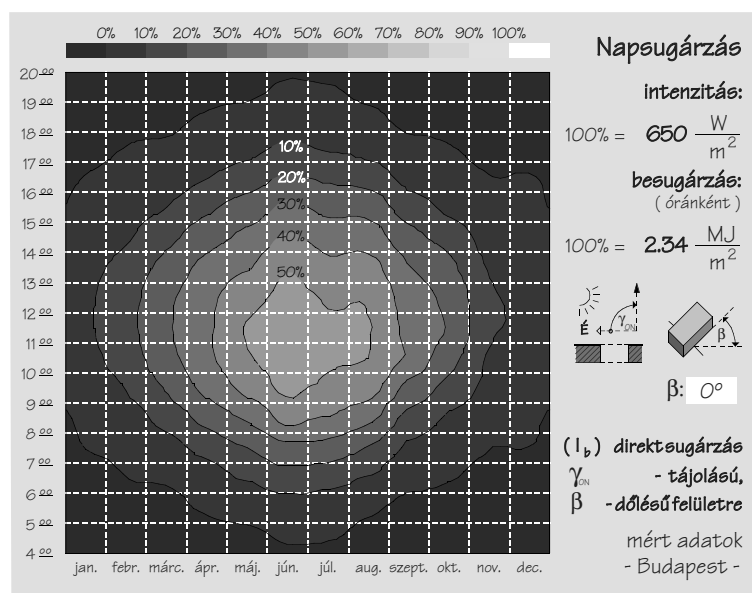
A publikált mérési adatok közül a legtöbb Budapestre vonatkozik. Az ország nagy területére csak átlag globálsugárzási adatok szerezhetőek be, pedig az eltérések (42. ábra) miatt azokra részletesen is szükség lehet. A tervezők számára a pontos hőtechnikai méretezés igényekor nem állnak rendelkezésre kellő adatok.

A gyakorlatban előfordul, hogy a globál (I) besugárzás óránkénti értékei rendelkezésre állnak, azok bontása azonban már nem szerepel az adatbázisban. A szakirodalmat áttanulmányozva több számítási eljárást is találhatunk, ami a havi globál átlagból illetve a besugárzás óránkénti globál (I) értékét felhasználva, óra bontásban megadja a direkt (I<sub>b</sub>)<sup>129</sup> és diffúz (I<sub>d</sub>) besugárzás értékeit.

Minden számítás<sup>130</sup> természetesen figyelembe veszi a földrajzi elhelyezkedést és annak megfelelően számolja a napállást is. A napállás kiszámolására az árnyékolószerkezetek vizsgálatakor is szükség lesz, ezért ennek a tárgyalását tartom először szükségesnek.



43. ábra



44. ábra

128 A táblázatban szereplő óraértékek a téli időszámításra vonatkoznak. (A dolgozatban szereplő táblázatok saját szerkesztések.)

129 I<sub>b</sub> - beam sugár rövidítés alapján.

130 A számításokat John A. Duffie, William A. Beckman: Solar Engineering of thermal processes, John Wiley & Sons, INC. (1991.) útmutatásai alapján végeztem.



A nap helyzetének kiszámítási módszerét több szakirodalom is részletesen<sup>131</sup> taglalja, ezért azok származtatását nem tartom szükségesnek ismertetni. A képletek tömör leírása azonban segítheti az ellenőrzést, illetve a további vizsgálódást. Mivel a számítás igen munkaigényes, ezért a bemutatásra a tiszta matematikai formulák helyett a számítógép használta algoritmust<sup>132</sup> tartom megfelelőbbnek. Ezt indokolhatja az is, hogy ilyen számolást manapság szinte kivétel nélkül csak számítógéppel végzünk.

### A napállás számítási algoritmus<sup>130</sup>

$$B = (n-1) \cdot 360 / 365$$

$$E_1 = 0,032077 \cdot \sin B + 0,014615 \cdot \cos 2B$$

$$E = 229,2 \cdot (0,000075 + 0,001868 \cdot \cos B - E_1 - 0,04089 \cdot \sin 2B)$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(360 \cdot ((284+n)/365))$$

$$\text{Solartime} = 4 \cdot (\text{Longitude} - 15) + E + \text{Standardtime}$$

$$\omega = 15 \cdot (\text{Standardtime} - 720) / 60$$

$$\omega_{EW} = \arccos(\tan \delta / \tan \phi)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$$

$$\theta_s = \arccos(\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta)$$

$$\gamma_{s1} = \arcsin((\sin \omega \cdot \cos \delta) / \sin \theta_s)$$

$$C_1 = 1 \text{ ha } \arcsin(\omega) \leq \omega_{EW}$$

$$C_1 = -1 \text{ ha } \arcsin(\omega) > \omega_{EW}$$

$$C_2 = 1 \text{ ha } (\phi - \delta) \geq 0$$

$$C_2 = -1 \text{ ha } (\phi - \delta) < 0$$

$$C_3 = 1 \text{ ha } \omega \geq 0$$

$$C_3 = -1 \text{ ha } \omega < 0$$

$$\gamma_s = -1 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \gamma_{s1} + C_3 \cdot ((1 - C_1 \cdot C_2) / 2) \cdot 180$$

$$\gamma_N = 180 - \gamma_s$$

$$\gamma_N = \gamma_s - 180 \text{ ha } \gamma_N \geq 360$$

$$\gamma_N = \gamma_s + 180 \text{ ha } \gamma_N < 0$$

$$\alpha = \arcsin(\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta)$$

$$\varphi = \arccos(\cos \theta_s \cdot \cos \beta + \sin \theta_s \cdot \sin \beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma_{0s})) \quad [\text{K.04}]$$

**Azimut** - a napsugárzás irányának vízszintes vetülete és az északi  
( $\gamma_N$ ) irány által bezárt szög ( az óramutató járása szerint )

**Napmagasság** - a napsugárzás irányának vízszintes vetülete és a  
( $\alpha$ ) nap sugar irány közötti szög

**Bezártszög** - a napsugárzás irányának és a vizsgált felület  
( $\varphi$ ) normálisának a szöge

**Latitude** - ( $\phi$ )

földrajzi szélesség

**Longitude**-

földrajzi hosszúság

**n** -

az év n-dik napja

**Standardtime** -

percben megadva a vizsgált időpont

**deklináció** - ( $\delta$ )

**óraszög** - ( $\omega$ )

**Zenit** - ( $\theta_s$ )

a napsugárzás iránya és a függőleges által bezárt szög

**Felületazimut** - ( $\gamma_{0s}$ )

a vizsgált felület normálisának vízszintes vetülete és a Déli irány által bezárt szög

**Felületazimut** - ( $\gamma_{0N}$ )

a vizsgált felület normálisának vízszintes vetülete és az Északi irány által bezárt szög

**Hajlásszög** - ( $\beta$ )

a vizsgált felület normálisa és a normális vízszintes vetülete által bezárt szög

**Azimut** - ( $\gamma_s$ )

a napsugárzás vízszintes vetülete és a déli irány által bezárt szög

131 Szokolay Vajk: A napsugárzás geometriája, PLEA füzetek, BME-YMMF (1996.)

132 Az algoritmus nincs programozási nyelvhez kötve.



Amennyiben nem áll rendelkezésünkre semmilyen adat egy adott terület napi teljes besugárzására<sup>133</sup>, abban az esetben  $H_0$  számítását<sup>130</sup> a következő képlettel végezhetjük:

$$G_{on} = G_{sc} \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos(360 \cdot n / 365)) \quad [K.05]$$

$$H_0 = (86400 / \pi) \cdot G_{on} \cdot (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + (\pi \cdot \omega_s / 180) \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta)$$

Egy adott<sup>134</sup> órában a teljes besugárzás mennyisége pedig  $I_0$ .

$$\omega_1 = 15 \cdot (\text{Standardtime} - 720) / 60 \quad [K.06]$$

$$\omega_2 = 15 \cdot (\text{Standardtime} - 660) / 60$$

$$I_0 = (43200 / \pi) \cdot G_{on} \cdot (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + ((\pi \cdot (\omega_2 - \omega_1) / 180) \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta))$$

Az így kiszámított értékek teljesen napos, tiszta égboltra vonatkoznak, elméleti lehetséges értéket jelentve. Sokkal pontosabban meg lehet határozni a besugárzás ( $I$ ) értékét, ha nem számított, hanem mért értékünk van a napi teljes besugárzásra ( $H$ ).

$$a = 0,409 + 0,5016 \cdot \sin(\omega_s - 60)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \cdot \sin(\omega_s - 60)$$

$$r_t = (\pi / 24) \cdot (a + b \cdot \cos \omega) \cdot ((\cos \omega - \cos \omega_s) / (\sin \omega_s - ((\pi \cdot \omega_s / 180) \cdot \cos \omega_s)))$$

$$I = H \cdot r_t \quad [K.07]$$

Az így számított adatokat (45. ábra) összevetve a mérési eredményekkel (43. ábra), nagyon jó egyezés figyelhető meg, ami a számítás használhatóságát bizonyítja.

Az összbesugárzás mellett azonban szükséges a direkt és diffúz sugárzás mennyiségét is ismerni az árnyékolási vizsgálatokhoz. Azok kiszámításához azonban meg kell határozni a felhős és napos periódusok arányát. Erre a mért és a számított eredmények összevetésével a borultsági<sup>135</sup> index ( $k_T$ ) ad lehetőséget.

## Diffúz sugárzás

Az égbolt borultsága nemcsak a besugárzás mértékét határozza meg, hanem a diffúz sugárzás mennyiségét is. Mérési adatok tükrében megrajzolva a ( $k_T - I_d/I$ ) értékpárokat<sup>136</sup>, szoros korreláció figyelhető meg.

133 Vizszintes felületre vonatkoztatva.

134 Az adott óra értéket (Standardtime) követő hatvan percre számítva.

135 A borultsági indexet (clearness index) Liu és Jordan (1960.) vezette be.

136 Orgill és Holland (1977.) kanadai adatok alapján határozott meg összefüggést.

## Napsugárzás

### besugárzás számítása

#### Össz besugárzás - ( $H_0$ )

egy adott napra  
számítva [ $J/m^2$ ]  
vízszintes felületen

#### Össz besugárzás - ( $I_0$ )

egy adott órára  
számítva [ $J/m^2$ ]  
vízszintes felületen

#### Napnyugta - ( $\omega_s$ )

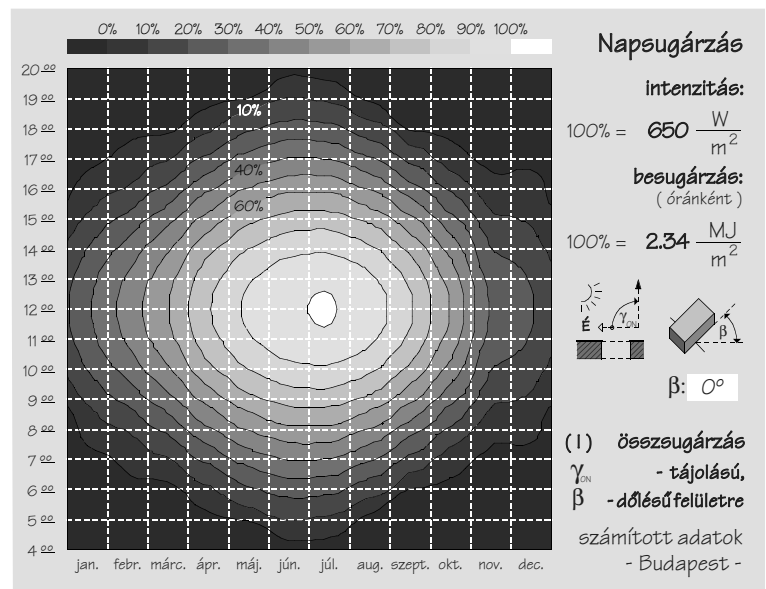
óraszöge

#### Össz besugárzás - ( $H$ )

egy adott napra  
mért adat [ $J/m^2$ ]  
vízszintes felületen

#### Össz besugárzás - ( $I$ )

egy adott órára  
mért adat [ $J/m^2$ ]  
vízszintes felületen



45. ábra



Az összevetéseket különböző meteorológiai állomások adatai alapján többen is elvégezték, a ma legáltalánosabban használt függvény<sup>137</sup> a következő:

ha  $k_T \leq 0,22$

$$|a_d| = 1 - 0,09 \cdot k_T$$

ha  $0,22 < k_T \leq 0,8$

$$|a_d| = 0,9511 - 0,1604 \cdot k_T + 4,388 \cdot k_T^2 - 16,638 \cdot k_T^3 + 12,336 \cdot k_T^4$$

ha  $k_T > 0,8$

$$|a_d| = 0,165$$

[K.08]

A függvény ismeretében, ha rendelkezünk össz besugárzási adattal, akkor  $k_T$  számítása után a sugárzás diffúz illetve direkt<sup>138</sup> komponensét is meg tudjuk határozni. Erre a további számításokhoz igen nagy szükség van.

A kiszámított függvény azonban amerikai eredményekre támaszkodva született. Ezért hazai számításokra csak nagy körültekintéssel<sup>139</sup> (46. ábra) használható. Az összetartozó értékpárokat a magyar adatok alapján is elkészítettem (47. ábra) és hasonló függvényemet állapítottam meg. Az értékpárok felrajzolásakor azok energiataralmát is jelöltem, hiszen a hőkomfort szempontjából számomra a nagy besugárzási energiák a fontosabbak.

A grafikon alapján a hazai viszonyok figyelembevételével a következő függvényt<sup>140</sup> határoztam meg:

ha  $k_T \leq 0,273$

$$|a_d| = 1 - 0,249 \cdot k_T$$

ha  $0,273 < k_T \leq 0,692$

$$|a_d| = 1,425 - 1,804 \cdot k_T$$

ha  $k_T > 0,692$

$$|a_d| = 0,177$$

[K.09]

## Napsugárzás

borultsági mutató

**Borultsági index - ( $K_T$ )**

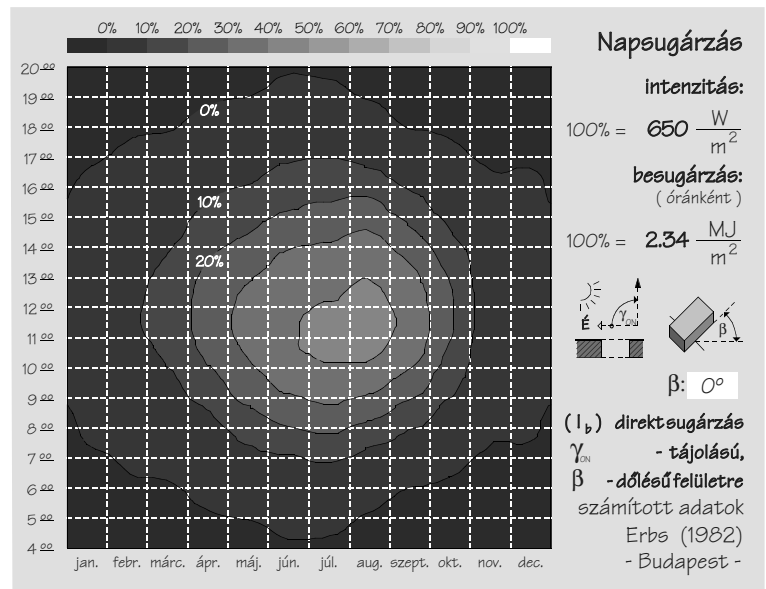
$$K_T = H/H_0$$

napi érték

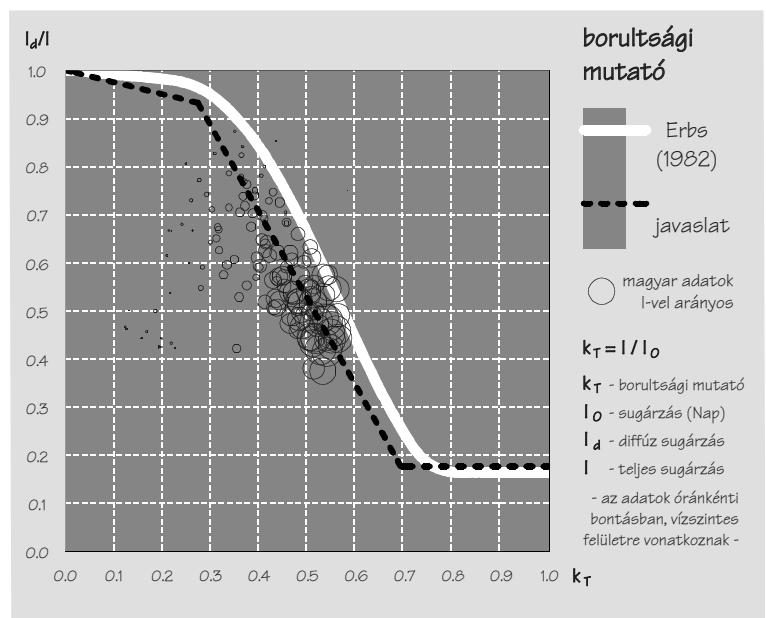
**Borultsági index - ( $k_T$ )**

$$k_T = I/I_0$$

óra érték



46. ábra



47. ábra

137 Erbs számításai alapján (1982.)

138 Vízszintes felület esetén  $I = I_b + I_d$ .

139 Összevetve a 44. ábrával.

140 Több mérési eredmény ismeretében szükségessé válhat a függvény korrekciója. A függvényt a matematikai statisztika szabályai alapján határoztam meg.

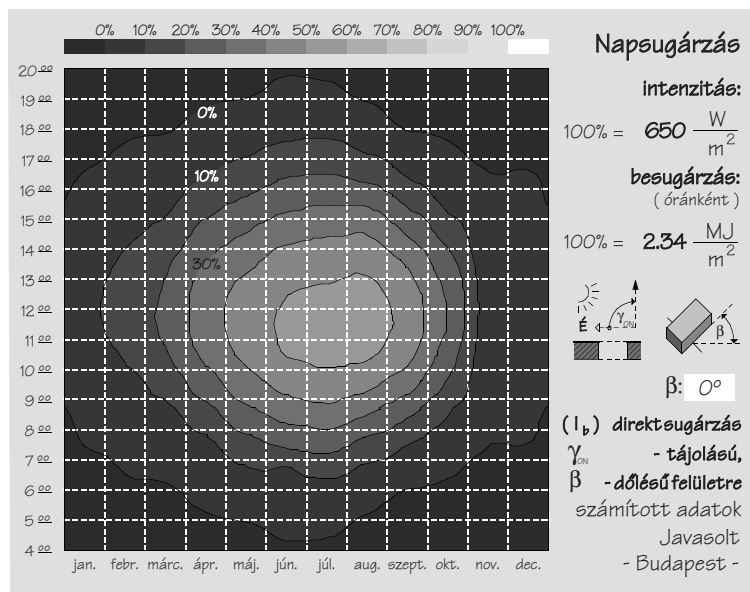


Az így meghatározható sugárzási adatok (48. ábra) sokkal nagyobb egyezést mutatnak a mért adatokkal. A bemutatott számítási eljárás révén a tervezők az ország tetszőleges pontjára érvényes bontott, vízszintes besugárzási adatokat tudnak előállítani, így akár méretezéskor a helyi sajátosságok is figyelembe vehetőek.

## Ferde felületek

Az építészeti gyakorlatban azonban általában nem a vízszintes felületek besugárzása az érdekes. A falak függőlegesek, a tetőterek pedig szöglet zárnak be a vízszinthez képest. Az eddigi vizsgált horizontális felülethez képest a vizsgálatokat el kell végezni minden dőlésszögre valamint tájolásra.

A vizsgálat így olyan léptéket kapott, amelyek mérésére már a meteorológiai állomások sem vállalkoztak.



48. ábra

A szakirodalomban hosszabb mérési sorozatra<sup>141</sup> csak kevés és általában csak a négy fő égtáj szerint beállított függőleges felületre találunk példát. A „falak“ besugárzásának mérését hazánkban a Központi Légekörfizikai Intézet kezdte 1968-ban, és a méréseket nyolc éven keresztül regisztrálta. A valóságban<sup>142</sup> az egyes égtájak szerinti szórt (diffúz) sugárzást műszerhiány miatt csak 1-2 évig regisztrálták. 1969-ben a déli, 1970-71-ben a keleti, 1972-től a nyugati irányítású felületre eső diffúz sugárzást mérték. A mérések kiértékelése igen részletesen foglalkozik a négy égtáj adataival, azonban az eredményekből általános dőlésű és irányított felületre következtetéseket levonni nagyon nehéz.

hazai mérések

fő égtájak

segédletek

A kidolgozott tervezési segédletek<sup>143</sup> csak függőleges felületekkel foglalkoznak, ám azok táblázatos formája nehezen áttekinthető. Az adataik -mérésekre támaszkodva- főleg elméleti megfontolások alapján születtek. Az egyes felületekre érkező napenergia mennyiségének különbségét azonban kiválóan ábrázolják, így a tervezők képet kaphatnak a lakószobák helyes tájolásának fontosságáról.

Ferde felületek energiahozamát azonban ezek alapján nem lehet meghatározni, és az árnyékolószerkezetek vizsgálatát is nehezkesse teszi a táblázatos forma. A felmerült hiányosságok miatt szükséges egy minden esetet kezelni képes számítási eljárás kidolgozása. Ezért váltak kiemelt jelentőségűvé az eddig bemutatott számítási módszerek.

141 Valkó, P.: Some empirical properties of solar radiation and related parameters. Swiss Meteorological Institute, Zürich (1980.)-három mérőállomást talált csak.

142 Takács Olga: A függőleges és vízszintes felületre jutó szórt sugárzás aránya Időjárás (OMSz) 85. évf. 4. szám (1981.)

143 A szakirodalmi felsorolás több tervezési segédletet tartalmaz.





## Elméleti megfontolások

Egy tetszőleges irányultságú és dőlésű felületre érkező teljes besugárzás mennyisége ( $I_T$ ) három részből tevődik össze: a direkt ( $I_{dir}$ ), a diffúz ( $I_{dif}$ ) valamint a reflektált ( $I_{ref}$ ) sugárzás mennyiségéből:

$$I_T = I_{dir} + I_{dif} + I_{ref} \quad (144) \quad [K.10]$$

A besugárzás direkt ( $I_{dir}$ ) tényezője a felületre érkező sugárzás<sup>145</sup> merőleges vetületével egyezik meg. Így ez a komponens egyszerű számításal meghatározható, ha ismerjük egy tetszőleges felületre érkező direkt sugárzás mennyiségét. Mivel mérési vagy számítási adatok ( $I_b$ ) vízszintes felületre állnak rendelkezésre, a felület besugárzásának meghatározását annak felhasználásával célszerű elvégezni:

$$\begin{aligned} I_b &= I_d \quad (146) \\ R_b &= \cos\varphi / \cos\theta_s \\ I_{dir} &= I_b \cdot R_b \end{aligned} \quad [K.11]$$

A diffúz alkotó ( $I_{dif}$ ) meghatározása már további elméleti megfontolásokat is szükségessé tesz. Az égboltsugárzás<sup>147</sup> mennyisége függ attól, hogy az égbolt félgömbjének melyik részét vizsgáljuk. Más és más értékeket kapunk, ha az aktuális napirány felé vagy attól eltérő irányba fordulunk. Az égbolt viselkedése<sup>148</sup> ezért anizotrópnak tekinthető.

Mivel a vizsgálataimat az árnyékoló szerkezetekre is ki szeretném terjeszteni, ezért a számításaim elvégzéséhez szükséges lenne egy tipikus meteorológiai évre<sup>149</sup> vonatkozó diffúz égboltmodell meghatározása. Az árnyékolók esetén azonban nem elegendő a felületre érkező diffúz komponens megadása, hanem az adott esetben az égbolt sugárzás sűrűségfüggvényét kell ismerni. Ilyen irányú mérési adatok jelenleg sehol sem állnak rendelkezésre.

Több elmélet<sup>150</sup> született a fő égtájak szerinti diffúz komponens meghatározására -sűrűségi eloszlás nélkül-, azonban azok árnyékolók vizsgálatára nem alkalmasak. A legtöbb elmélet az égbolt izotróp modelljét próbálja<sup>151</sup> módosítani.

**Teljes besugárzás** - ( $I_T$ )  
ferde felületen  
számítva [ $J/m^2$ ]

**Direkt besugárzás** - ( $I_{dir}$ )  
ferde felületen  
számítva [ $J/m^2$ ]

**Diffúz besugárzás** - ( $I_{dif}$ )  
ferde felületen  
számítva [ $J/m^2$ ]

**Direkt besugárzás** - ( $I_b$ )  
vízszintes felületen  
számítva [ $J/m^2$ ]

**Diffúz besugárzás** - ( $I_d$ )  
vízszintes felületen  
számítva [ $J/m^2$ ]

**Teljes besugárzás** - ( $I$ )  
vízszintes felületen  
számítva [ $J/m^2$ ]

árnyékolók

144 A jelöléseket ( T, dir, dif, ref ) ferde felület esetén használok.

145 Csak a direkt sugárzás vehető figyelembe ilyen módon.

146 A borultsági index használatával  $I_d$  számítható csak ki közvetlenül.

147 A diffúz sugárzásra használatos megnevezés.

148 Csak teljesen ködös időben viselkedik izotróp modell alapján.  
Majoros András: Belsőterek világítása (1998.) alapján.

149 Dr. Major György: Tipikus meteorológiai év szerkesztése.  
Az OMSz kisebb kiadványai 68. szám, Budapest, 1992.

150 Hazánkban Farkasné Takács Olga foglalkozik behatóan a témával.

151 A „Solar engineering of thermal processes“ alapján  
Hay and Davies (1980.), Reindl (1990.), Klucher (1979.),  
Skartveit and Olseth (1986.), Perez (1988.)



Az izotróp modell lényege az, hogy az égbolt bármely pontját vizsgálva a diffúz sugárzás mennyisége állandó. Ez az egyszerűsítés a gyakorlati példák ismeretében nem jelent akkora eltérést, hogy ne lehetne számítások elvégzéséhez alkalmazni. Jelenleg a világon ezt a modellt alkalmazzák a legtöbbször, a kis pontatlanság és az egyszerű kezelhetőség miatt. A számítások elvégzéséhez -sugárzási eloszlás hiányában- ennek a modellnek az alapjait alkalmaztam. Az izotróp égbolt alapján Liu és Jordan (1960.)<sup>152</sup> határozta meg elsőként ferde felületek globálsugárzását (IT):

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I \cdot \rho_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad [\text{K.12}]$$

Az általuk leírt képlet szolgált a további publikált képletek alapjául is. A sugárzás diffúz összetevőjét a vízszintes ( $\cos \beta$ ) vetület szerint határozták meg:

$$I_{dif} = I_d \cdot (1 + \cos \beta) / 2 \quad [\text{K.13}]$$

Egy felületre érkező diffúz sugárzás nagysága izotróp égbolt esetén attól függ, hogy az adott felület mekkora részét „látja” az ég félgömb felületének. Ez azonban csak a vizsgált felület dőlésszögével ( $\beta$ ) és nem annak vetületével arányos. Az árnyékolók vizsgálatakor szükséges meghatározni azt az égboltszeletet, amit az adott szerkezet kitakar, ennek a felszíne arányos az ablakra érkező diffúz sugárzás mennyiségével. A kitalart égbolt felületét Liu és Jordan képlete alapján nem lehet értelmezni, ezért az izotróp modell viselkedésének jobban megfelelő képletet határoztam meg:

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_d \left( \frac{180 - \beta}{180} \right) + I \cdot \rho_g \left( \frac{\beta}{180} \right) \quad [\text{K.14}]$$

Vízszintes és függőleges felületek esetében a két számítási mód azonos eredményeket ad, ferde felületekre is csak minimális az eltérés.<sup>154</sup> Dolgozatomban a továbbiakban ezt a képletet alkalmazom.

A reflektált sugárzás vizsgálatára nagyon kevés próbálkozás történt, hiszen ez képviseli a legkevesebb sugárzási energiát. A vizsgálatok hiányának egyik oka, hogy a vizsgálatot itt befolyásolja legnagyobb mértékben a környezet<sup>155</sup>, így általános érvényű következtetéseket levonni nagyon nehéz. Itt is izotróp modellt feltételezve:

$$I_{ref} = I \cdot \rho_g(\beta/180) \quad [\text{K.15}]$$

$\beta$  - a vizsgált felület dőlésszöge

$\rho_g$  - a környezet albedója<sup>(153)</sup>

*a definíció értelmezése*

*Az árnyékolók esetében is használható képlet*

*reflektált sugárzás*

152 Liu és Jordan: The Intereelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation, Solar Energy, 4, (1960.)

153 Dolgozatomban  $\rho_g$  értékét 0.15 -nek határoztam meg.

154 30° alatti dőlésszögeknél jelentkezik csak nagyobb eltérés, azonban ilyen hajlásszög felett kerülnek csak beépítésre a tetőtterek.

155 A felületek albedója mellett a környező tárgyak alakja és felszíne is fontos elem.



## A tájolás szerepe

Az elméleti áttekintés után érdemes a tájolás szempontját figyelembe véve megvizsgálni az egyes felületek besugárzásának mértékét. A nyári túlmelegedés szempontjából a déli irány (49. ábra) a meghatározó.

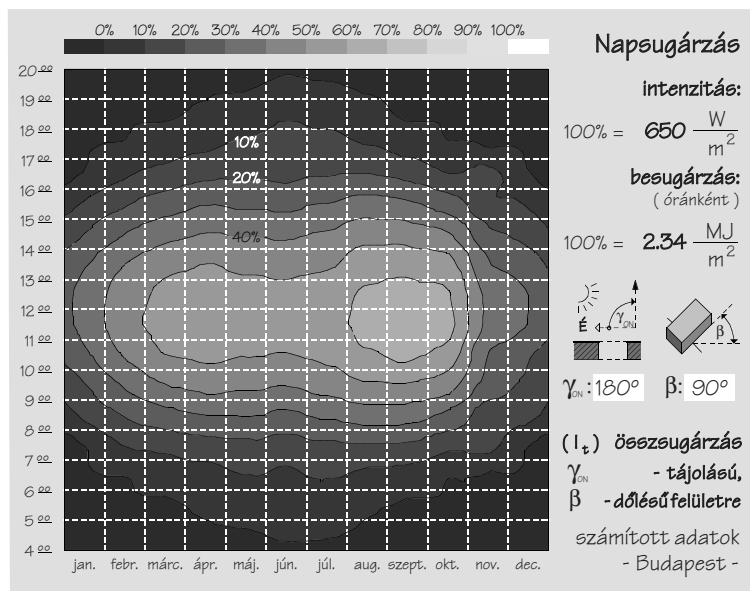
A besugárzási adatok a vízszintes felülethez (43. ábra) képest sokkal alacsonyabbak, és a hónaptól függetlenül sokkal egyenletesebben oszlanak el a déli órákban. A téli hónapokat kivéve gyakorlatilag azonos a felületre érkező besugárzási energia napi mennyisége.

Ez természetesen nem jelenti azt, hogy márciusban és augusztusban azonos hőkomfort problémák jelentkeznek egy déli tájolású szobában. A besugárzási adatokat csak a hőmérséklet (50. ábra) ismeretében szabad értelmezni. Ez azt jelenti, hogy az augusztusi napsugárzás rossz időben tetőzik, hiszen akkor ugyanis nagy a forróság.<sup>156</sup> De az is leszűrhető az adatok összevetéséből, hogy tavasszal és nyáron a szoláris nyereség igen jelentős, passzív napenergia hasznosítással csökkenthető az aktív fűtés igénye.<sup>157</sup>

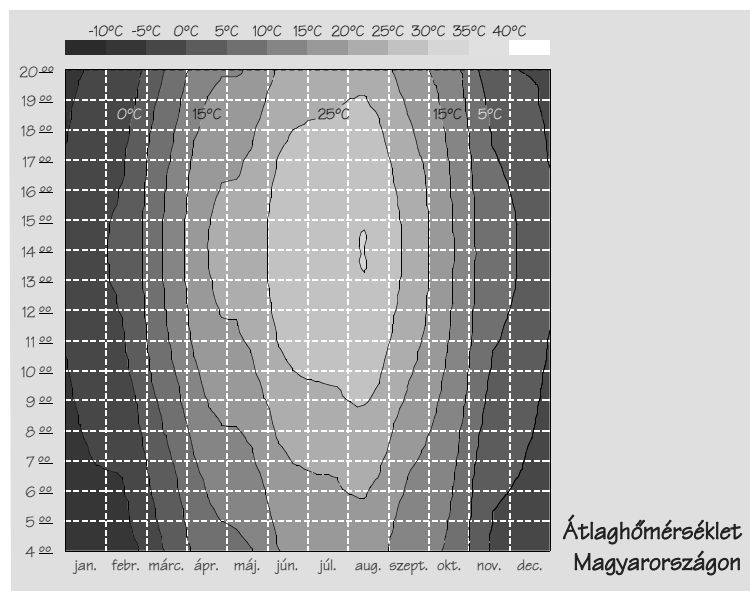
A hőmérsékleti görbe legmelegebb területe kijelöli egyben azt a zónát is, amikor csökkenteni kell a szobába érkező napenergia mennyiségét. Ennek a legegyszerűbb módja, ha árnyékolót alkalmazunk. Az ablak teljes leárnyékolása lenne a legideálisabb,<sup>158</sup> de a használat szempontjait figyelembevéve ez nem oldható meg. Mivel a lakószobákban a természetes megvilágítás is fontos szempont, ezért az ablakokat csak részben lehet árnyékolni. A hőmérsékleti görbe a célszerű szellőztetés megtervezését is segíti. Amíg nyáron a „könnyűszerkezetes“ szoba léghőmérséklete alacsonyabb, mint a kinti levegőé, addig nem indokolt - hőtechnikailag - az ablakok kinyitása.<sup>159</sup> Az esti órákban azonban kedvező a teljes szellőztetés.

## Napsugárzás

### felületek tájolása



49. ábra



50. ábra

156 Természetesen a napsütés miatt (I) alakul ki a magas hőmérséklet.

157 A passzív szolár házak tervezésekor ez az egyik szempont.

158 Egy zsalugáter bezárása illetve a külső redőny teljes leengedése.

159 Természetesen a szobákba friss levegőt nem épületfizikai okokból engedünk.



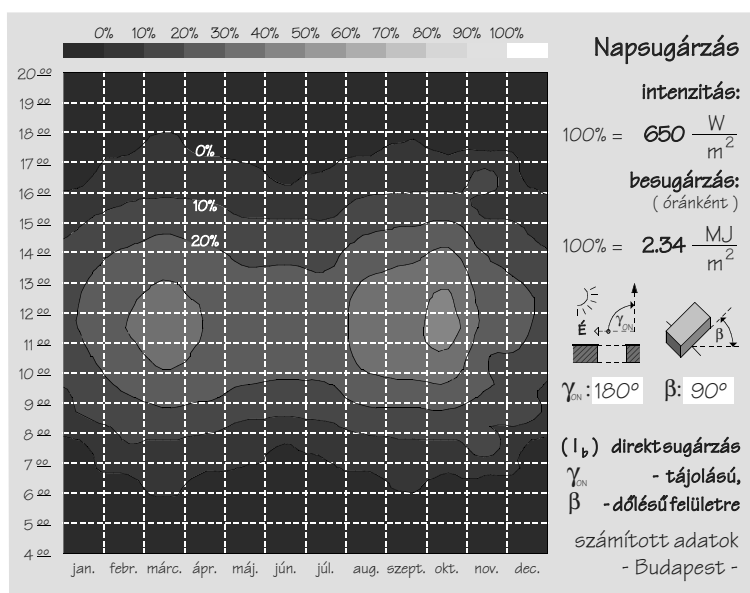
Ha a klímaviszonyokat árnyékolással szeretnénk javítani, akkor elsődlegesen az árnyékolás módját kell meghatároznunk. Egy ablakot kétféle módon tudunk leárnyékolni. Árnyékoló és árnyékvető szerkezet felhasználásával.<sup>160</sup>

Az árnyékoló főszíkjá az ablak síkjával párhuzamos (zsalugáter, redőny, külső roló), míg az árnyékvető síkja azzal valamilyen szöget zár be<sup>161</sup> (eresz, erkély, párkány). Természetesen ezek kombinációjával is lehet találkozni (reluxa, mozgatható zsalugáter).

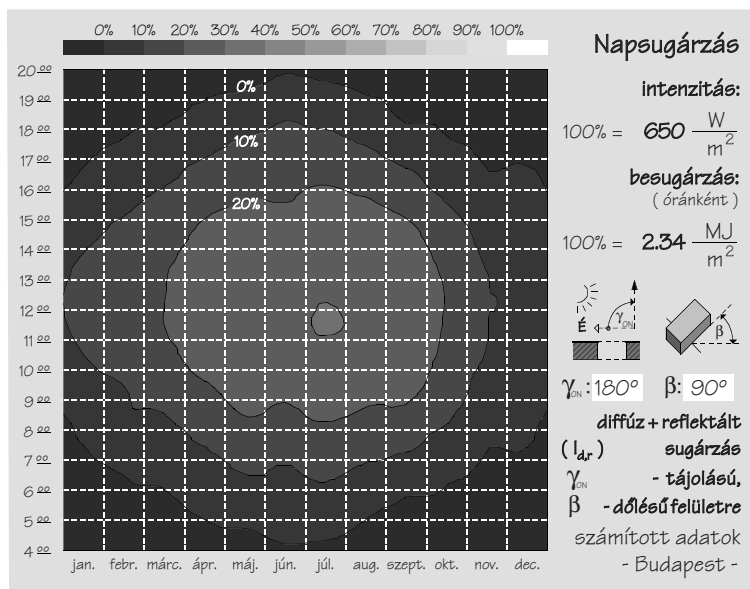
Az árnyékolószerkezetek inkább az ablak „területét” csökkentik, hiszen védelmet jelentenek a direkt és a diffúz sugárzással szemben, letakarva az üvegezett felület egy részét. A besugárzás mérséklése mellett azonban a természetes világítás mértékét is jelentősen csökkentik. Teljes árnyékolás esetén a szoba mesterséges világítást igényel. Az árnyékvető szerkezetek a helyiség megvilágítását sokkal kisebb mértékben változtatják meg, hiszen a direkt sugárzást csökkentik csak számottevően, a diffúz sugárzást<sup>162</sup> csak mérséklik.

Az árnyékvető szerkezetek vizsgálatát ez a különbség nagyon nehezíti. A direkt sugárzásból az árnyékvető a geometriai viszonyok és az adott Naphelyzet függvényében árnyékol. Azonban nem elég meghatározni a leárnyékolott területet, hiszen az a fontos, hogy az adott besugárzásból mennyi energia érkezik az ablak felületére. Ezért a tájolás és az idő függvényén kívül az állandóan változó besugárzási adatokat is számításba kell venni. Az árnyékvető esetében tehát a direkt sugárzás mennyisége a döntő szempont.

Déli tájolású fal esetében a direkt sugárzás menete az 51. ábra szerint, a diffúz sugárzásé pedig az 52. ábra alapján alakul.



51. ábra



52. ábra

160 Jó összefoglaló található a témából, Koszó József: Árnyékolók és Fügönyök, Dunakanyar, (2000.)

161 A leggyakoribb esetben derékszögben találkoznak.

162 Az árnyékoló által kitakart égbolt-felület arányában.



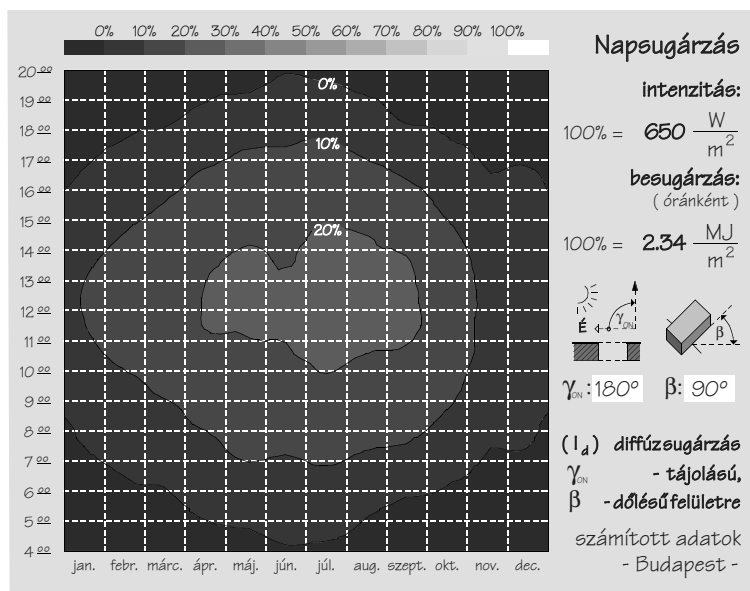
A direkt sugárzás maximuma nem a nyári hónapok alatt jelentkezik, hanem a tavaszi és őszi időszakban. Ez azt jelenti, hogyha fix árnyékvetővel jelentősen leárnyékoljuk a déli szobák ablakait, akkor az év azon napjain<sup>163</sup> is csökkentjük a besugárzás mértékét, amikor az egyébként kedvező lenne. Az adatok tükrében át kell gondolni a déli árnyékvető használhatóságát.

Ilyen szerkezet beépítése csak mérsékeltén csökkenti a diffúz sugárzás mennyiségét (52. ábra), pedig annak a maximuma a nyári hónapokra esik. Mégsem kell elvetni az árnyékvetők használatát, hiszen megoldható mobil szerkezetek alkalmazásával, hogy csak a nyári hónapokban „használjuk” azokat. A direkt sugárzás kizárása pedig az összenergiának (49. ábra) megközelítően a felét adja.

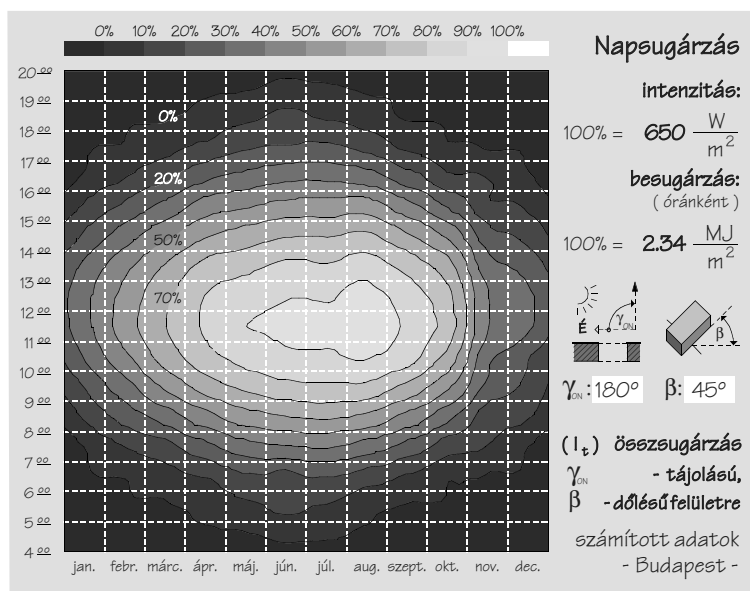
Az energia másik része a diffúz és a reflektált sugárzásból származik (52. ábra). Ezt a két alkotót azonban nem érdemes külön vizsgálni, hiszen a visszavert sugárzás<sup>164</sup> olyan kis energiát képvisel, ami csak alig módosítja a diffúz (53. ábra) sugárzást.

Déli tájolású ferde felület<sup>165</sup> besugárzása sokkal nagyobb (54. ábra), mint az adott falfelületé. A legnagyobb értékek is jobban koncentrálnak a nyári hónapokra. A ferde felület nyáron majdnem kétszer akkora energiát kap, mint a függőleges, ami rögtön megmagyarázza a tetőtér túlmelegedését.

A szabvány<sup>166</sup> nem tesz különbséget függőleges illetve ferde „falú” szoba között, azok hőátrolókapacitását azonos mértékkel méri. Két azonos hőátrolótömegű szoba (tetőtér, földszint) esetében a tetőtéri ablak felületét kétszer akkora energia éri, mint a szobáét, ezért ott nagyobb „tömeg” használna lenne indokolt. Az előírások erre nem térnek ki, a tervezőknek azonban erre figyelni kellene.



53. ábra



54. ábra

163 A tavaszi és őszi időszakban.

164 Jelentősebb szerepet csak a téli hóborította napokon jelenene.

165 A vizsgált esetben  $45^\circ$  a felület dőlésszöge.

166 MSz-04-140-2:1991



## Tetőablak

A tetősíkból fekvő ablakot jelentősen több energia éri, mint a tetősíkból kiemelkedő „kutyaól“ ablakot. A két ablak között további különbséget jelent, hogy a síkban lévő ablakra árnyékvető szerkezetet szerelni nem lehet. A külső roló<sup>167</sup> rögzítése olyan kialakítású, hogy csukott ablak esetében teljesen zárt.

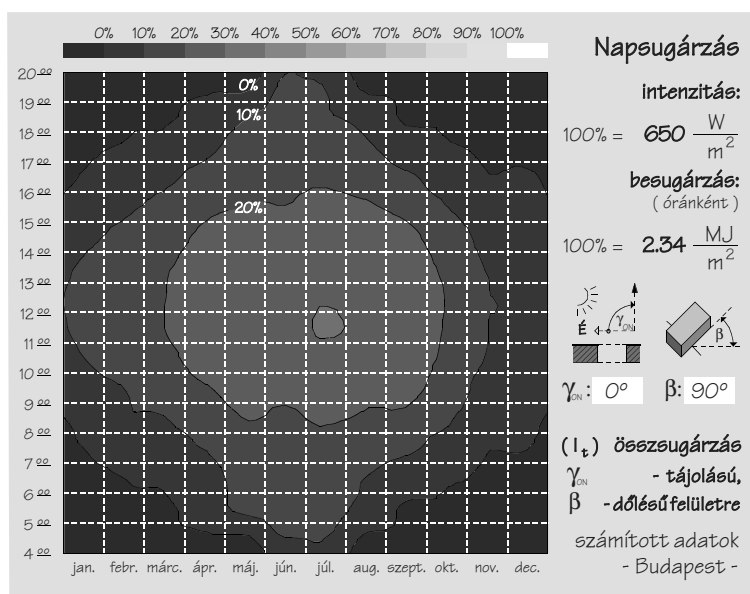
A bevilágítás csak úgy biztosítható, ha az ablakot félig kinyitjuk. Ebben az esetben azonban a kinti meleg levegő bejutását „terelőként“ segíti. A tető fedésére a mai építési gyakorlat<sup>168</sup> Bra-mac betoncserépet használ. A divat pedig a sötét színeket részesíti előnyben, ezért gyakori a fekete, szürke, bordó tetőcserép. Egy nyári napon a „cserépek“ felülete a 70-90°C hőmérsékletet is elérheti, mivel a beton nagy hő-tárolókapacitású, ezért ezt a hőfokot sokáig meg is tartják. A „szellőtetéskor“ a tető által felmelegített levegő jut a szobába, ami tovább rontja a tetőtér hő-komfortját.

A „kutyaól“ ablak beépítése több épü-letszerkezeti problémát vet fel árnyékolhatósága és kisebb besugárzott energiaszintje miatt, kis hő-tárolótöme-gű szobák esetében mégis jobbnak min- nősíthető.<sup>169</sup>

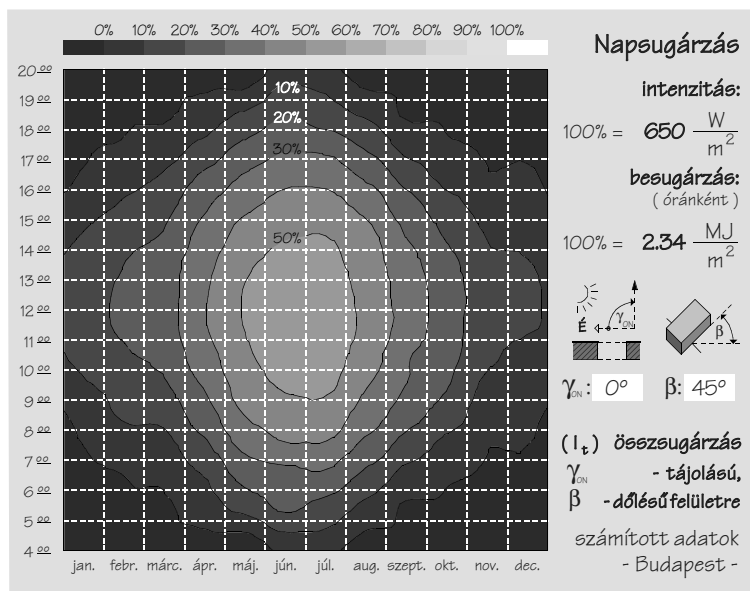
A ferde és függőleges felület között természetesen minden tájolási irányban jelentkezik az energiakülönbség. Egy északi (55. ábra) falra gyakorlatilag csak diffúz sugárzás érkezik,<sup>170</sup> ezért azt árnyékolni nem szokás. Ugyanilyen tá-jolású ferde ( $\beta$ ) felületre (56. ábra) azonban már a függőleges déli fal ener-giaszintje érkezik, (49. ábra) amit pe-dig energetikailag jelentősnek tartunk. Közbülső irányok és dőlésszö-gek összehasonlításával azonos eredményre juthatunk. Tetszőleges felü-letre az ismertett számítási eljárással a besugárzási ábrák elkészíthe-tőek.

## Napsugárzás

tetőablak



55. ábra



56. ábra

167 A VELUX ablakokhoz külső redőny is felszerelhető, amit tetszőleges mértékben le lehet engedni zárt ablak esetében is.

168 Fő szempontként az árát lehet megemlíteni.

169 A nyári túlmelegedést figyelembevéve.

170 Csak a reggeli és az esti órákban mérhető a direkt sugárzás.



Az észak-déli tengelyre vonatkoztatva a Nap pályája szimmetrikusnak tekinthető. Ez a szimmetria a keleti (57. ábra) és nyugati (58. ábra) falakra érkező besugárzás mennyiségében is felfedezhető.

Érdekes, hogy a keleti tájolás esetében a sugárzás abszolút maximuma a déli felület legmagasabb értékével azonos. Természetesen ez az érték a délelőtti<sup>171</sup> órákban jelentkezik. Mivel ekkor még alacsonyabb a külső hőmérséklet, így a besugárzás kisebb mértékben jelent problémát. Hálósobák esetében<sup>172</sup> ezért ideális tájolási iránynak tekintik a tervezők.

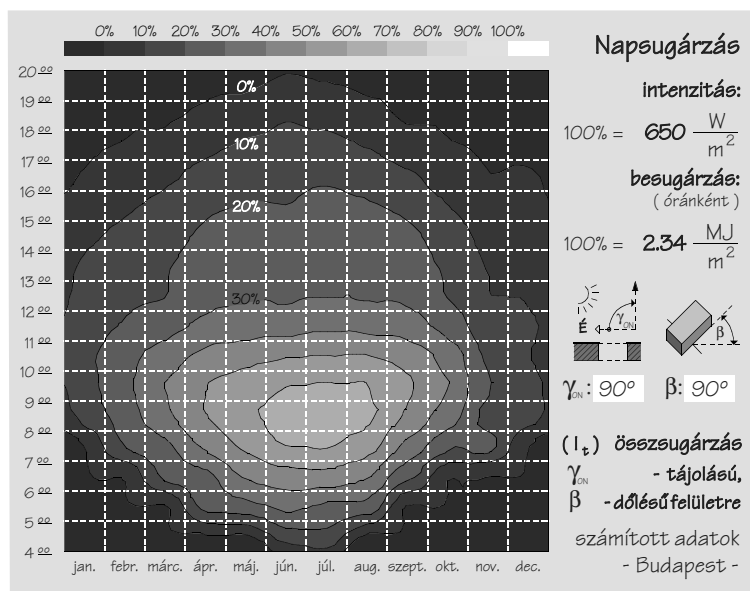
A nyugati oldalon a délutáni besugárzás a kinti meleg léghőmérséklettel egyidőben jelentkezik, ezért a szobák jobban felmelegsznek. A nyugati irány a nappalik és dolgozószobák hagyományos orientációja, a munka után ez a pihenés fő helye. Ez az év nagy részében kedvező, nyáron azonban árnyékolást igényel.

A két irány<sup>173</sup> összehasonlításakor a szimmetria mellett szembeötlő, hogy a nyugati besugárzási maximum legalább 10%-kal alacsonyabb. A délutánra felmelegedett levegő a felső légköri rétegekben felhősödést indít el, ezért ekkor borultabb az idő, gyakoribb a záporok kialakulása. A felhős időben pedig csökken a besugárzás globális értéke. Ez a jelenség olyan mértékű, hogy a besugárzási görbéken is észrevehető különbségeket hoz létre.

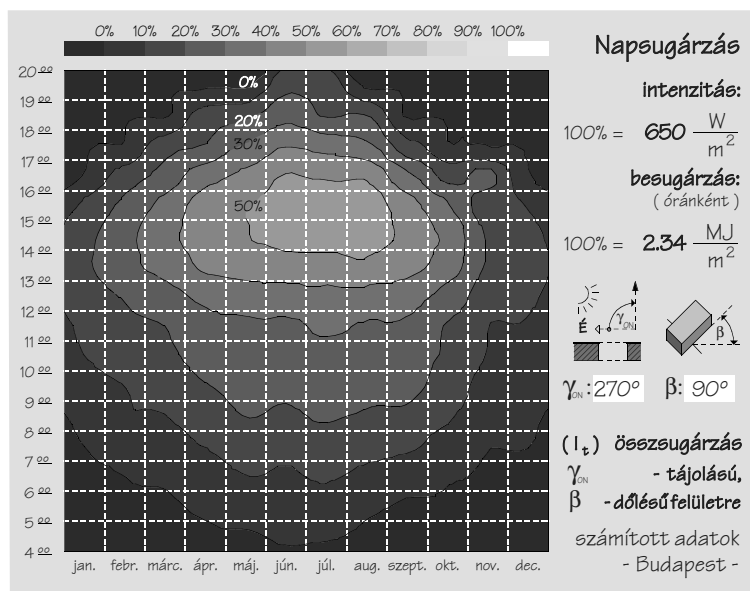
## Napsugárzás

felhősödés

mért intenzitás max:  
650 W/m<sup>2</sup>



57. ábra



58. ábra

171 A nyugati tájolás esetében a délutáni órában tetőzik.

172 A reggeli napsugár ébreszti az embert, az esti órákban pedig alacsonyabb a szoba hőmérséklete.

173 A keleti és nyugati irány.



# Üvegezések naptényezője

## Naptényező

### ablakszerkezetek

A beható épületfizikai vizsgálatokhoz szükségünk van a helyiségbe jutó energia pontos ismeretére is. Mivel a napi gyakorlatban egyre nagyobb ablakfelületet alkalmazunk, így az ezen átjutó energia is fontosabb<sup>174</sup> szerepet kap. Az üvegszerkezetek energia-áteresztését a hőtechnika klasszikus<sup>175</sup> összefüggéseiből kiindulva nem lehet meghatározni, ezért olyan számítási eljárást<sup>176</sup> dolgoztak ki, ami ezeket a nehézségeket áthidalta. A számítási módszer lényege azon a felismerésen alapul, hogy egy tetszőleges<sup>177</sup> üvegezésen, valamint egy 3 mm vastag egyrétegű üvegen keresztül<sup>178</sup> a napsugárzás hatására a helyiségbe jutó hőmennyiség viszonya állandó. Ez a viszonyszám<sup>179</sup> a vizsgált ablakszerkezet naptényezője (N).

$N_{ablak}$  -

az ablak naptényezője

$I_{SRG}$  - ( $W/m^2$ )

az etalonszerkezeten<sup>181</sup> át bejutó energiaáram

$q_{ablak}$  - ( $W/m^2$ )

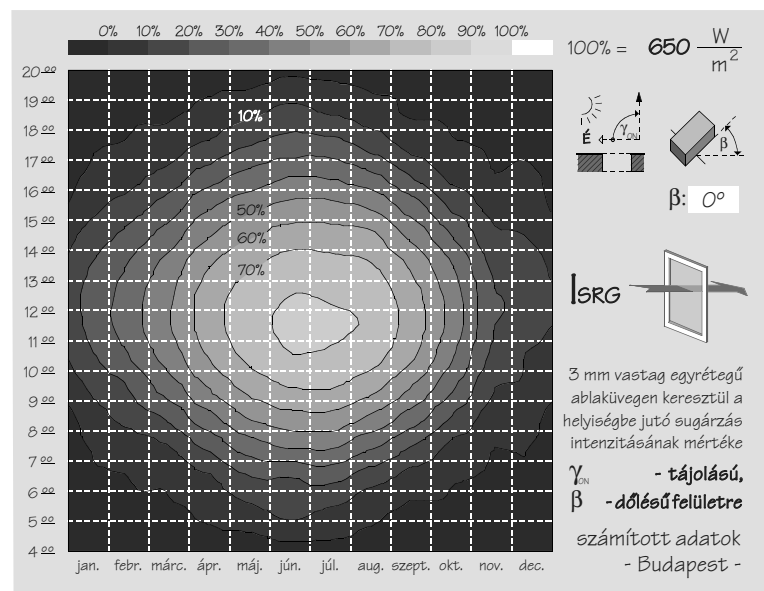
az ablak egységnyi felületén át a helyiségbe jutó energiaáram

A 3 mm vastag egyrétegű üvegezésen keresztül a helyiségbe jutó energiaáram<sup>180</sup> ( $I_{SRG}$ ) ismeretében egy ablakszerkezeten keresztül adott időpontban a helyiségbe jutó hőmennyiség a következő összefüggésből számítható:

$$q_{ablak} = N_{ablak} \cdot I_{SRG}$$

[K.16]

Az etalonszerkezeten<sup>181</sup> átjutó energiaáramot ( $I_{SRG}$ ) különböző beesési szögek mellett megtalálhatjuk a hazai viszonyokat tükröző táblázatokban.<sup>182</sup> A rendelkezésre álló adatok azonban csak vízszintes és függőleges felületekre kerültek kidolgozásra (59. ábra), így azokat a tetőtér vizsgálatához nem lehet felhasználni. Ezért a számítási módszereket a 3 mm vastag egyrétegű üvegszerkezet átbocsátására is ki kell terjeszteni. A számítás elméleti megalapozásával több szakirodalom<sup>183</sup> is részletesen foglalkozik.



59. ábra

174 Ha a homlokzati üvegezés aránya 50%-nál nagyobb, akkor az ablakok mellett a falazatok energiaáteresztése elhanyagolható a klímaberendezések tervezésekor.

175 konvektív, sugárzó és vezetési hőcsere

176 Guide and Data Book, ASHRAE, New York (1963.)

177 árnyékolt vagy árnyékolás nélküli ablak

178 azonos időpontban és azonos körülmények között

179 egynél kisebb pozitív szám,  $N = q_{ablak} / I_{3mm}$

A naptényező nemcsak a szerkezet által áteresztett sugárzásra, hanem az elnyelt energiából hőátadás és saját sugárzás révén bejutó energiaáramra is jellemző.

180 adott időpont, napállás és tájolás alapján

181 3 mm vastag, egyrétegű, tiszta, közönséges ablaküveg

182 Dr. Szabó Gyula, Dr. Tárkányi Zsuzsanna:

Napsugárzási adatok az építőipari tervezés számára, (1969.)

183 Dr. Szabó Gyula: (1973.)

Árnyékolt és árnyékolás nélküli üvegezések energiaáteresztése, Épületgépészet





## ISRG számítási algoritmusa:<sup>184</sup>

$$a_0 = 0,01154 \quad a_1 = 0,77674 \quad a_2 = -3,94657$$

$$a_3 = 8,57881 \quad a_4 = -8,38135 \quad a_5 = 3,01188$$

$$t_0 = -0,00885 \quad t_1 = 2,71235 \quad t_2 = -0,62062$$

$$t_3 = -7,07329 \quad t_4 = 9,75995 \quad t_5 = -3,89922$$

$$A_{dir} = a_0 + a_1 \cdot \cos \varphi + a_2 \cdot \cos^2 \varphi + a_3 \cdot \cos^3 \varphi + a_4 \cdot \cos^4 \varphi + a_5 \cdot \cos^5 \varphi$$

$$T_{dir} = t_0 + t_1 \cdot \cos \varphi + t_2 \cdot \cos^2 \varphi + t_3 \cdot \cos^3 \varphi + t_4 \cdot \cos^4 \varphi + t_5 \cdot \cos^5 \varphi$$

$$A_{dif} = 0,05434$$

$$T_{dif} = 0,79906$$

$$k_\alpha = 0,25926$$

$$I_{dir} = I_b \cdot R_b$$

$$I_{dif} = I_d \cdot (180 - \beta) / 180$$

$$I_{ref} = I \cdot p_g(\beta / 180)$$

$$I_{SRG} = I_{dir}(T_{dir} + A_{dir} \cdot k_\alpha) + (I_{dif} + I_{ref})(T_{dif} + A_{dif} \cdot k_\alpha)$$

[K.17]

A képletek fenti kibővítésével tetszőleges tájolású és dőlésű esetre (60. ábra) is kiszámíthatóvá vált az etalonszerkezet energiaátbocsátása. Mivel az ablakszerkezetek naptényezői táblázatokból elérhetőek, az energiaáram így általánosan<sup>185</sup> modellezhető.

A kiszámított diagramok<sup>186</sup> (59-60. ábra) igen nagy hasonlóságot mutatnak a felületek besugárzási (45, 54. ábra) adataival. Ezért érdemes a két görbese-reget összehasonlítani:

$$N_{3mm} = I_{SRG} / I_T \quad [K.18]$$

Az  $N_{3mm}$  a 3 mm vastag síküveg „naptényezője“, amit minden tájolásra<sup>187</sup> meg lehet határozni. Ez az érték (61. ábra) jól használható lenne, mivel sokszor csak a teljes besugárzás ( $I_T$ ) ismerete áll a rendelkezésre.

$$q_{ablak} = N_{ablak} \cdot N_{3mm} \cdot I_T \quad [K.19]$$

## Naptényező

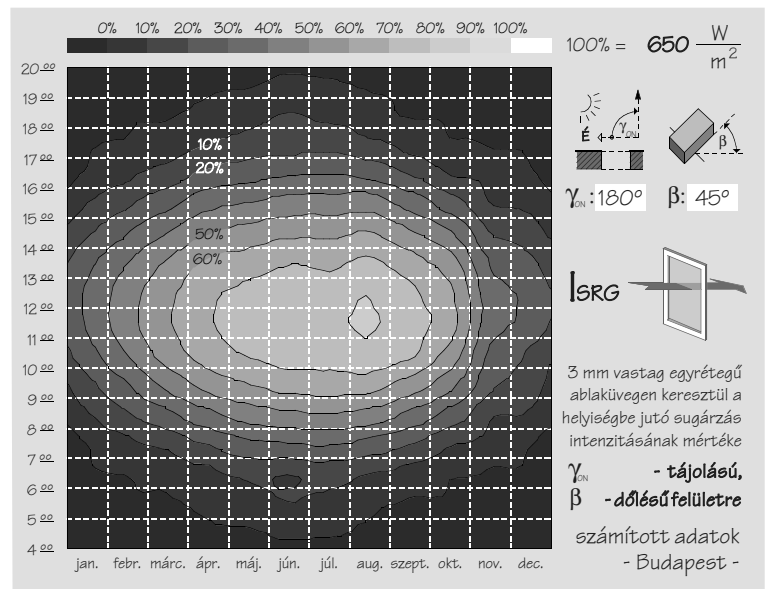
számítási módszer

### Bezártszög - ( $\varphi$ )

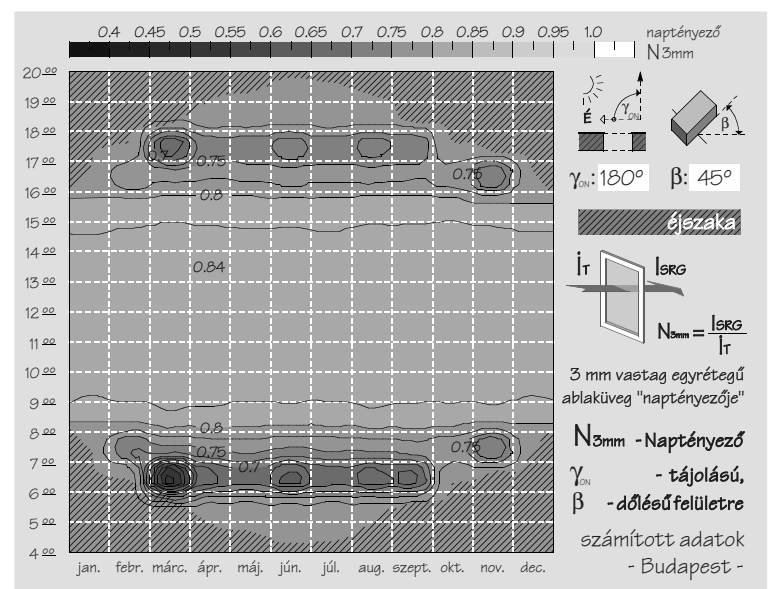
a napsugárzás és a vizsgált felület normálisának a szöge

### Hajlásszög - ( $\beta$ )

a felület normálisa és vetületének a szöge



60. ábra



61. ábra

184 A számítások alapját: Dr. Szabó Gyula, Dr. Tárkányi Zsuzsanna: Napsugárzási adatak az építőipari tervezés számára, (1969.) jelentette.

185 Az ablakok árnyékolás nélküli vizsgálatokor.

186 A melléklet részletesen tartalmazza a számítások eredményeit.

187 A fő irányokra a számított adatok a mellékletben megtalálhatóak.



A módszer használhatóságának azonban ellentmond, hogy  $N_{3mm}$  értékeit  $I_{SRG}$ -hez hasonlóan minden irányra és időpontra ki kell számítani. Mindkét görbesereget nincs értelme előállítani, hiszen azok egymással összefüggnek. A gyakorlatban pedig a jobban használható  $I_{SRG}$  értékét célszerűbb meghatározni.

A görbék (61. ábra) vizsgálatakor<sup>187</sup> azonban szembeűnő, hogy az értékek csak nagyon kis szórást mutatnak. A gyakorlati használatban nem követünk el nagy számítási hibát, ha a pillanatnyi ( $N_{3mm}$ ) érték helyett a napi súlyozott átlag ( $N_0$ ) értéket használjuk.

$$N_0 = H_{SRG} / H_T \quad [K.20]$$

Ezek az adatok minden tájra ábrázolhatóak (62. ábra) egyetlen<sup>188</sup> táblázatban. Így ha csak a teljes besugárzás ( $I_T$ ) adatai állnak rendelkezésre, akkor is jó gyakorlati közelítéssel meghatározható a helyiségbe jutó energiaáram minden időpontban:

$$q_{ablak} \equiv N_{ablak} \cdot N_0 \cdot \dot{I}_T$$

$$I_{SRG} \equiv N_0 \cdot \dot{I}_T \quad [K.21]$$

## Ellenőrző számítás

A módszer használhatóságához érdemes megvizsgálni, hogy milyen eredmények születnek a legkedvezőtlenebb esetet figyelembe véve. A kiszámított naptényező összehasonlításából<sup>189</sup> egyértelműen kitűnik, hogy az  $N_{3mm}$  megfelelő adatai a déli, függőleges tájolás (63. ábra) esetén adják a legnagyobb szórást<sup>190</sup>.

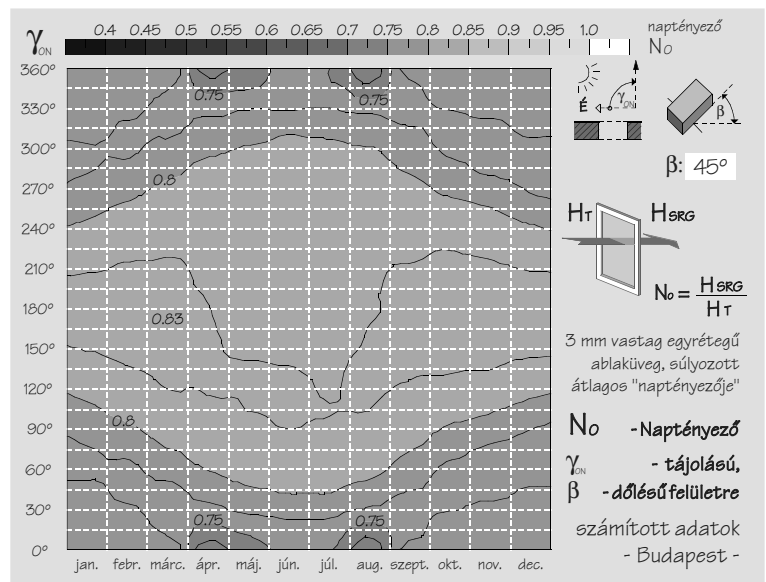
Ez nem meglepő, ha ellenőrizzük a kapcsolódó direkt sugárzás (51. ábra) adatait is. A vártnál alacsonyabb besugárzási értékeknek az a magyarázata, hogy ekkor nagyon nagy szögben érkezik a felületre a napsugárzás ( $\varphi$ ).

## Naptényező

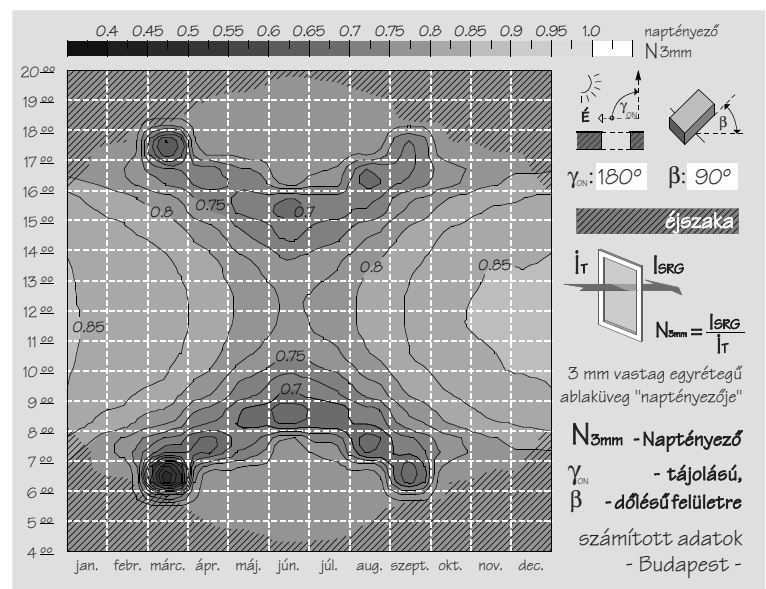
### gyakorlati következtetések

$H_{SRG} - (Wh/m^2) - \Sigma I_{SRG}$   
az etalonszerkezeten  
át bejutó energiaáram  
napi összege

$H_T - (Wh/m^2) - \Sigma I_T$   
adott felület napi  
össz. besugárzása



62. ábra



63. ábra

188 Egy adott dőlésszög ( $\beta$ ) esetében.

No megfeleltethető a külföldön használatos napenergia átbocsátás ( $g$ ) értéknek.

189 Az elvégzett számításokból a fő irányokra vonatkozó adatok a mellékletben megtalálhatóak.

190 Az adatok legmarkánsabb eltérését nyáron a déli időben figyelhetjük meg.



Nagy beesési szögek esetében az üvegezésen „kevesebb“ energia jut a szobába. Sík üveglapok áteresztése  $0-65^\circ$  szögtartományban gyakorlatilag állandónak<sup>191</sup> tekinthető. Ezért ilyenkor  $N_{3\text{mm}}$  érték is nagyon alacsonyra adódik más beesési szögekhez viszonyítva.

A vizsgált esetben  $I_{\text{SRG}}$  értékét kiszámítottam a pontosabb képlet alapján (64. ábra),

[K.17]

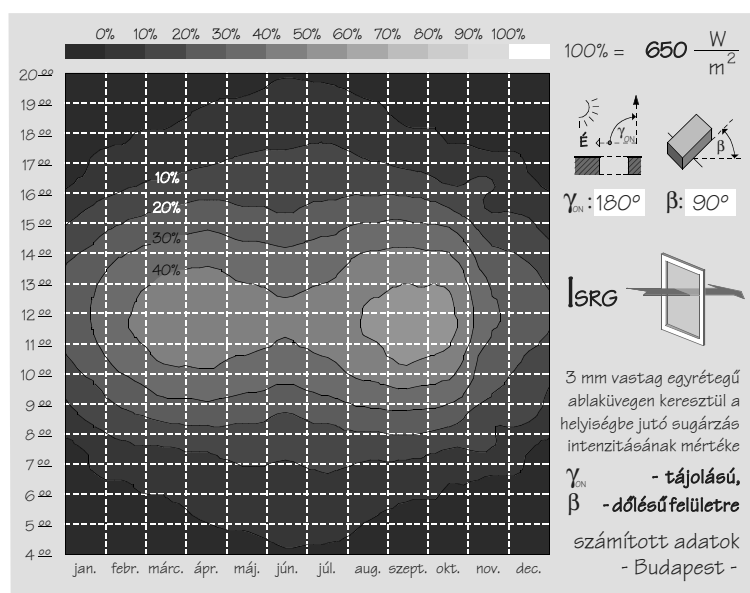
$$I_{\text{SRG}} = \dot{I}_{\text{dir}}(T_{\text{dir}} + A_{\text{dir}} \cdot K_{\alpha}) + (\dot{I}_{\text{dif}} + \dot{I}_{\text{ref}})(T_{\text{dif}} + A_{\text{dif}} \cdot K_{\alpha})$$

valamint az átlagos ( $N_0$ ) „naptényező“ (62. ábra) felhasználásával is.

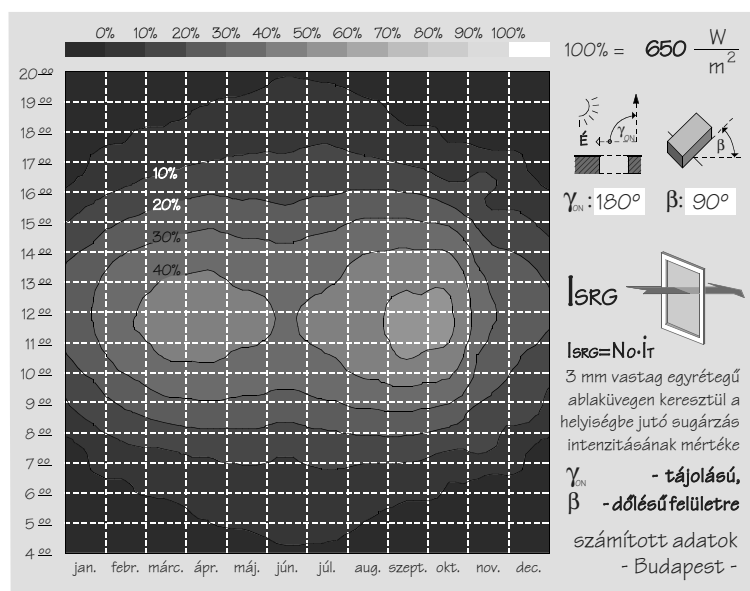
$$I_{\text{SRG}} \cong N_0 \cdot \dot{I}_T \quad (65. \text{ ábra}) \quad [\text{K.21}]$$

A két görbesereg a gyakorlati használat szempontjából egyezőnek<sup>192</sup> tekinthető. Azonban „pontosabb“ számítások igénykor szem előtt kell tartani, hogy a nyári hónapokban a déli időszak értékei alulbecsültek. Ezt a „hibát“ azonban bőven ellensúlyozza kézi számítások esetében a táblázatok könnyű használhatósága. Amennyiben a táblázatok helyett a vizsgálatokat számítógép segítségével végezzük, az ismert algoritmus használatával az átlagos naptényezőre ( $N_0$ ) nincs szükség, a fenti minimális eltérés nem jelentkezik.

A számítás logikájából adódóan egy ablakszerkezet naptényezőjének ( $N_{\text{ablak}}$ ) meghatározásához elegendő egyetlen beesési szög mellett megmérni, hogy a rajta keresztül a helyiségbe bejutó hőmennyiség hogyan aránylik az etalonszerkezeten át bejutó energiához. A naptényező így minden ablak esetében egyetlen szám. Az ablakok naptényezőjét a termékkatalógusokban illetve gyakori szerkezetek esetében a szakirodalomban<sup>193</sup> lehet megtalálni.



64. ábra



65. ábra

191 Dr. Zöld András: Dr. Fekete Iván, (1985.)

Épületfizika kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest

192 A legnagyobb eltérés a nyári hónapokban a déli időszakban adódik, a legnagyobb eltérés ebben az esetben sem éri el az 5%-ot. A napi összenergia szempontjából a két érték azonos.

193 Dr. Szabó Gyula: (1971.)

Üvegezések és árnyékolószerkezetek naptényezője, Épületgépészet I.

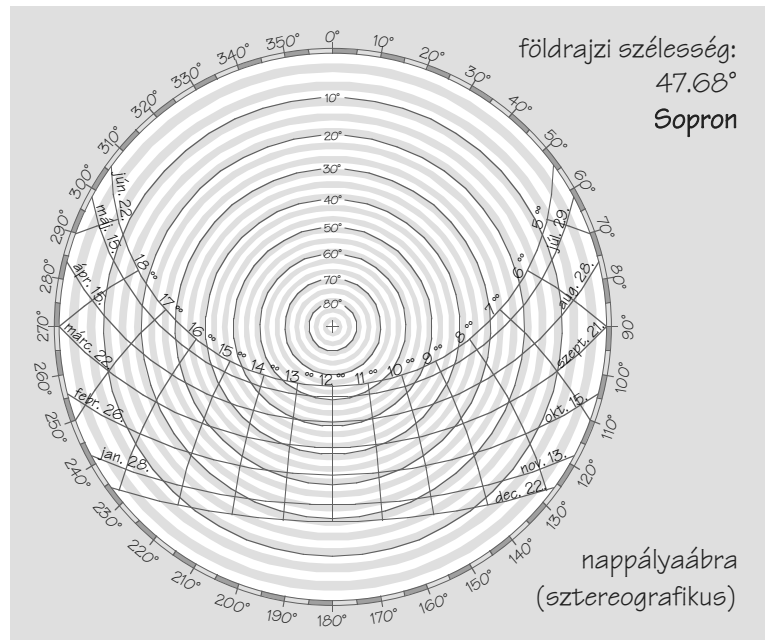


Az egyes helyiségek napenergianyerességét nappályadiagramok vizsgálatával határozzák meg a hazai gyakorlat szerint. Ezek a diagramok mindig a nap „útjának“ a vetületét tartalmazzák. A vetítési eljárások közül<sup>194</sup> a sztereografikus ábrázolás a legelterjedtebb.<sup>195</sup> Ezzel a módszerrel<sup>196</sup> szemléletesen (66. ábra) lehet ábrázolni, hogy egy adott időpontban és földrajzi helyen hol található a Nap. A megszerkesztett ábrák a benapozási vizsgálatok nélkülözhetetlen kellékei.

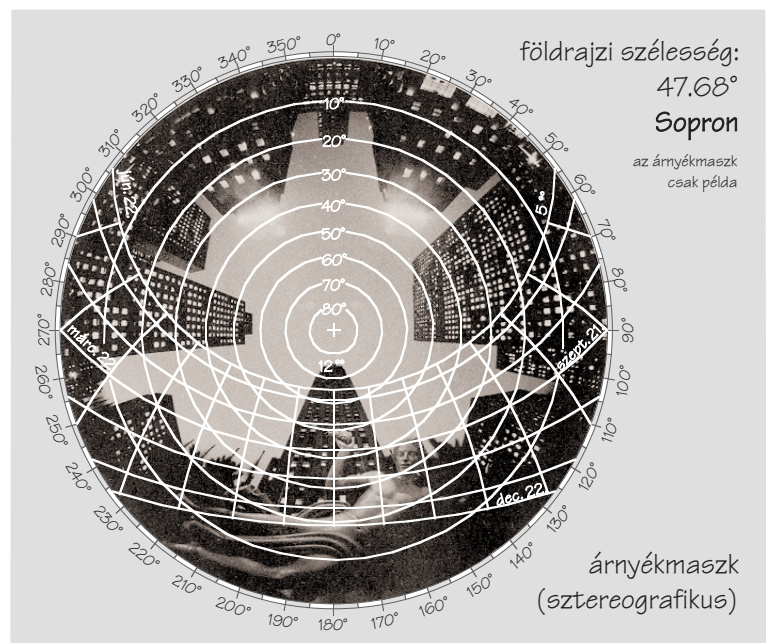
Egy adott térbeli pont esetében meghatározható, hogy a pontból az égbolt mekkora része látszik. Ezt az árnyékolók, a szomszéd épületek és a környezet határozza meg.

Az égbolt „kitakart“ részét (árnyékmaszka) a nappályadiagramba rajzolva<sup>197</sup> meghatározható, hogy egy adott időpontban hol lesz „látható“ a Nap. Ebben az esetben a vizsgált pontot - ha az nincsen árnyékban - „benapozottnak“ nevezzük. Az eljárás külön előnye, hogy a sztereografikus árnyékmaszka meglévő környezet esetében fényképészeti módszerekkel (67. ábra)<sup>198</sup> is el lehet készíteni.

A megszerkesztett árnyékmaszka csak arról ad megbízható felvilágosítást, hogy egy pont napos vagy árnyékos. A valós energetikai tartalomra csak feltételesen lehet következtetni.



66. ábra



67. ábra

194 A vetítési eljárásokat vízszintes és függőleges vetületként is ábrázolják.

Az amerikai szakirodalom főleg a Waldram vetítést alkalmazza.

195 A hazai egyetemi oktatásban is ez a vetítési mód kerül bemutatásra.

Dr. Kuba Gellért: Ökológus építészet, BME (1997.)

Dr. Zöld András: Épületfizika, BME (1995.)

196 Szokolay Vajk: A napsugárzás geometriája című jegyzetében a szerkesztési eljárás részletesen követhető.

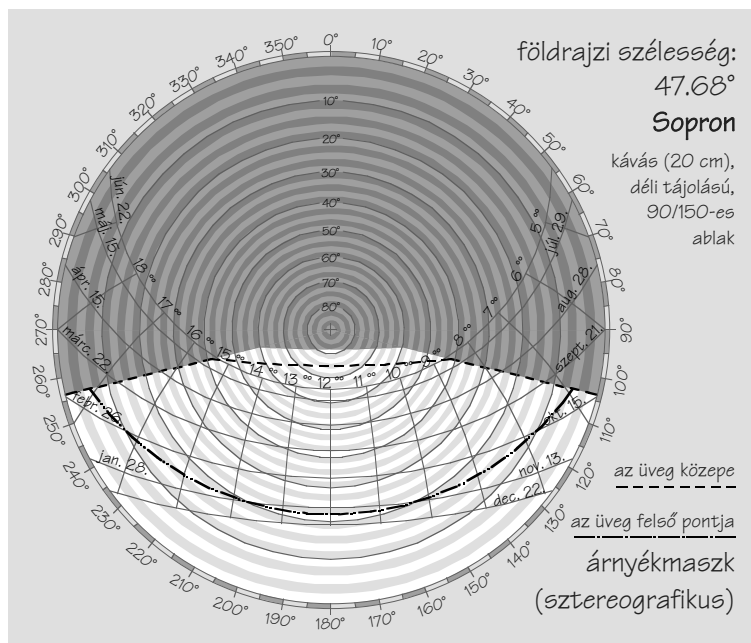
197 sztereografikus vetítés után

198 Az ábrában szereplő árnyékmaszka Olgyay alapján. (Rockefeller Plaza)  
Olgyay & Olgyay: Solar control & Shading devices, New Jersey, (1957.)



Az árnyékmászkat pontosan csak egy térbeli pontra vonatkoztatva lehet meghatározni. Ablakok<sup>199</sup> vizsgálatakor azonban úgy készítik a benapozási görbéket, hogy az a teljesen takart felületre vonatkozzon. Ez a módszer az ablakot abban az esetben is benapozottnak mutatja, ha az egyébként teljesen árnyékos üveg egyetlen négyzetcentiméterét éri napsugárzás.

A fenti szerkesztésből adódó pontatlanság mértékét jól szemlélteti a 68. ábra. Ezért az árnyékmász elemzéséből az ablakra érkező besugárzás mértékére csak nagyon felszínes következtetéseket lehet levonni. Pontosabb eredményekre csak abban az esetben lehetne számítani, ha az ablak több pontjára elvégeznék a szerkesztési eljárást. Így azonban csorbulna a „gyorsan“ szerkeszthető diagramok használhatósága.



68. ábra

## Árnyékolt ablakfelület

A hőkomfort feltételek vizsgálatakor nagyon fontos szerepet játszanak az árnyékoló és árnyékvető szerkezetek. Az árnyékolók - mivel az ablak síkjával párhuzamosan helyezkednek el - a besugárzásnak minden komponensét a felületük arányában csökkentik. Ez azt jelenti, hogy egy árnyékoló szerkezet naptényezője ( $N_{\text{árnyékoló}}$ ) nem függ az időtől és a tájolástól<sup>200</sup>, vagyis az ablakhoz hasonlóan egyetlen számmal jellemezhető.<sup>201</sup> Ezek az adatok a tervezők számára rendelkezésre állnak.

Az árnyékvetők az energetikai szempontok mellett igen fontos építészeti jelentőséggel is rendelkeznek.<sup>202</sup> Azonban karakteres megjelenésükhöz nagyon bonyolult direkt és diffúz besugárzási értékek tartoznak.

## Direkt sugárzás

Egy konkrét árnyékvető esetében<sup>203</sup> az ablakot érő direkt besugárzás mennyiségét az árnyék ismeretében könnyű meghatározni:

$$I_{\text{árny}(dir)} = I_{dir} \cdot (A_{\text{napos}} / A_{\text{teljes}}) \quad [K.22]$$

$I_{\text{árny}(dir)}$  - ( $Wh/m^2$ )  
az ablak felületére érkező direkt besugárzás mértéke (árnyékolt)

$I_{dir}$  - ( $Wh/m^2$ )  
az ablak síkjával párhuzamos árnyékoltatlan felületre érkező direkt besugárzás

$A_{\text{napos}}$  - ( $m^2$ )  
az ablak nem árnyékos üvegfelülete

$A_{\text{teljes}}$  - ( $m^2$ )  
az ablak teljes üvegfelülete

199 a benapozás vizsgálatok leggyakoribb esete

200 az árnyékoló helyzetétől azonban igen (leeresztett, félig nyitott ...)

201 Dr. Szabó Gyula: (1971.)

Üvegezések és árnyékoló szerkezetek naptényezője, Épületgépészet I.

202 A párkányok, erkélyek, tetők és egyéb építészeti tagozatok tartoznak ide.

203 meglévő vagy tervezett árnyékoló vizsgálatok

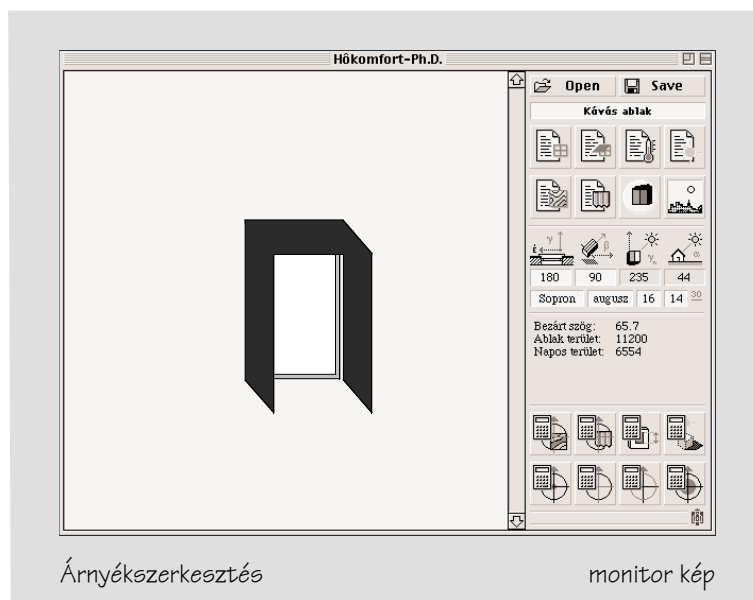


Ennek a számításnak az elvégzését a legtöbb építészeti tervező program<sup>204</sup> megkönnyíti, hiszen lehetővé teszik az árnyékok megszerkesztését. Arra azonban már közvetlenül nem alkalmasak, hogy minden tájolási esetet és időpontot meghatározzunk<sup>205</sup> velük. A számítások megkönnyítésére számítógépes célprogramot<sup>206</sup> írtam.

A program (69. ábra) bemenő adatként kéri az ablakok<sup>207</sup> poligonjainak és a környezet poligonokra bontott felületeinek<sup>208</sup> a koordinátáit. A tájolás megadása után tetszőleges időpontban<sup>209</sup> megszerkeszti<sup>210</sup> a kívánt árnyékot és kiszámítja a felületet érő direkt sugárzás ( $I_{\text{árny}(\text{dir})}$ ) mértékét.

### Diffúz sugárzás

Árnyékolók esetében a diffúz sugárzás meghatározása nem jelent gondot, azonban igen komoly kihívást jelent az árnyékvetők esetében. Mivel általánosan használható<sup>211</sup> vizsgálati módszert a szakirodalom nem tartalmaz, így szükségessé vált annak kidolgozása.



69. ábra

Egy adott pontba érkező diffúz sugárzás mértéke attól függ, hogy a pontból az égbolt félgömbjének mekkora és milyen<sup>212</sup> része látszik. Az égboltból a falak, árnyékvetők és a környezet is jelentős darabot kitakarhat, így a fennmaradó gömbfelület sűrűség szerinti súlyozott területe<sup>213</sup> adja a diffúz besugárzás mértékét ( $I_{\text{dif}(\text{benapozás})}$ ).

A vizsgálatok elvégzéséhez az égboltot - a térbeli ábrázolás nehézségei miatt - a benapozási vizsgálatoknál alkalmazott sztereografikus vetítésnek vettem alá. Így gömbháromszögek helyett síkbeli felületeket kell „csak” vizsgálni.

*$I_{\text{dif}(\text{benapozás})}$  - ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ) az ablak felületének egy pontjára érkező diffúz sugárzás intenzitása (árnyékolt)*

204 ArchiCAD, Nemecek, AUTOCAD ...

205 Mivel az árnyékos terület méretét egyesével kell meghatározni - egyetlen árnyékvető esetében is közel ötezerszer - ami hónapokat venne igénybe.

206 A megírt HyperCard programot a melléklet tartalmazza.

207 Külön megadva a tok és az üvegezés adatait. Több ablak megadására is mód van, amik akár ívesek is lehetnek. A bevitel során tetszőlegesen közelítve egyenesekkel kell az ívet megadni.

208 A környezet tartalmazhatja az árnyékvetők, szomszéd épületek és a terep jellemzőit is. A program korlátját csak az jelenti, hogy mindent síkbeli poligonokra kell felbontani. Természetesen a felbontás mértékét a program nem korlátozza.

209 tetszőleges földrajzi helyen

210 A program az analitikus geometria segítségével végzi el a poligonok vetítését.

211 Vízszintes konzolmezerekre találhatók különféle táblázati adatok, amikből általános érvényű számítási módszert levezetni nem lehet.

212 Az égbolt milyensége (sűrűsége) izotróp modell esetében állandó.

213 Anizotrópiát is feltételezve.



A síkbeli vetület egyik „kellemetlen“ velejárója, hogy az izotróp égbolt a vetületen már nem állandó sűrűségű (70. ábra). A kidolgozott számítási eljárás ezért egy adott diffúz eloszlást vesz figyelembe, ami jelenthet anizotróp adatokat is.

A módszer változtatás nélkül használható, ha rendelkezésre állnak - hónap és óra bontásban - a 70. ábrához hasonló anizotróp sűrűség-eloszlási<sup>214</sup> adatok is.

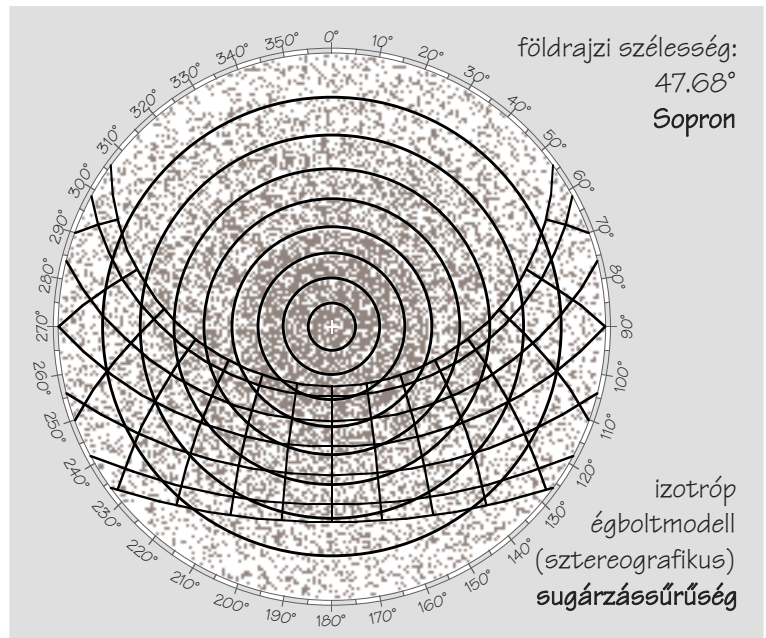
Egy adott tájolás és időpont vizsgálatához az ablak<sup>215</sup> üvegfelületét pontokra<sup>216</sup> bontom, amikre egyesével kiszámítom  $I_{dif(benapozás)}$  értékét. A számítást a már említett programom segítségével végzem el. A számítógép a kiinduló adatok tükrében megszerkeszti (71. ábra) az árnyékmászkot. A benapozott terület vizsgálatát pedig a raszterra bontás<sup>217</sup> technikájával végzi el.

Az így kiszámított pontbeli diffúz besugárzás mennyiségét  $I_{dif(benapozás)}$  összehasonlítom az adott időre vonatkozó árnyékolás nélküli sugárzás ( $I_d$ ) értékével. A két adat százalékos aránya a vizsgált pontban jellemzi az árnyékvető diffúz árnyékolóképességét.

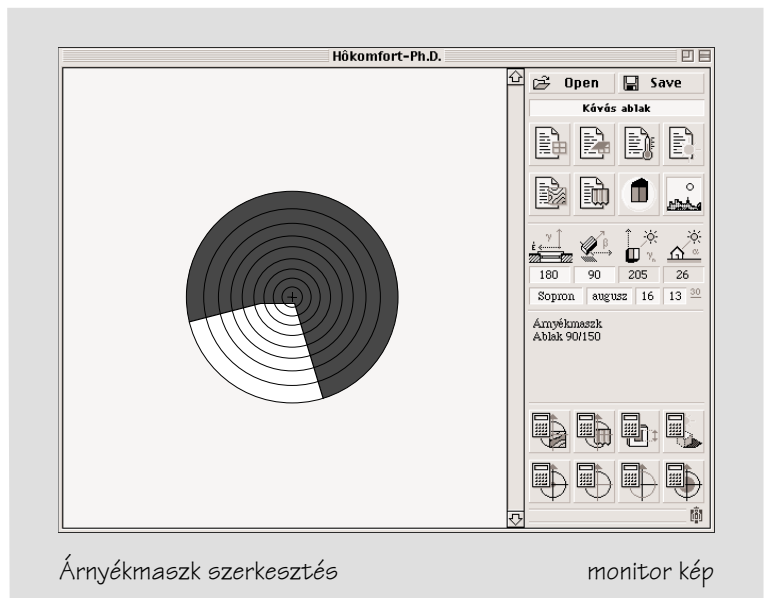
[K.23]

$$R_{o/d} = I_d \cdot 100 / I_{dif(benapozás)}$$

Ezekből a százalékos adatokból képzett átlagérték -diffúz megoszlás ( $R_{dif}$ )- jól mutatja, hogy az árnyékvető mennyire árnyékolja le az ablak felületét a diffúz sugárzás tekintetében.



70. ábra



Árnyékmászk szerkesztés

monitor kép

71. ábra

214 Az anizotróp adatokat a meteorológiai mérésekből lehetne összeállítani.

Jelenleg ilyen sűrűségeloszlási adatokat tudomásom szerint nem mérnek.

215 Több egy síkban fekvő ablak vizsgálatát is el lehet végezni.

216 A felbontás mértéke tetszőlegesen megválasztható.

Több esetet figyelembe véve a 10 cm-es egységekre bontás az eredményekben két tizedes pontosságot adott.

217 Az eljárás egyszerűbb, mint analitikus sűrűségfüggvények integrálása. A raszter méretének megválasztásával tetszőleges pontosság meghatározható.

A program két tizedes pontossággal számol.

Az eljárást számítógéppel végzett grafikus integrálnak lehet tekinteni.

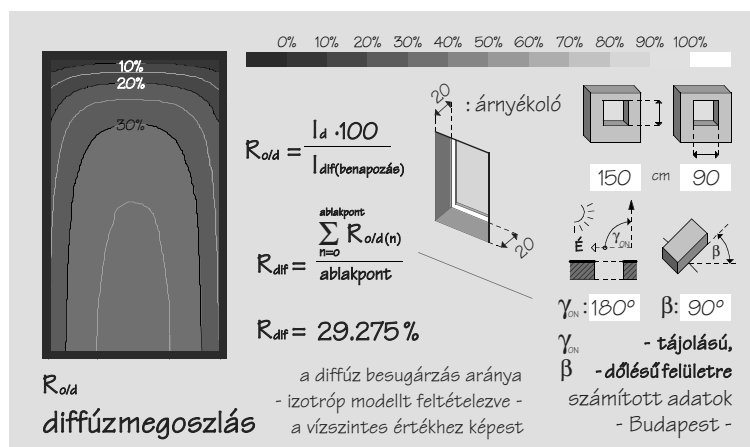


Az ablak pontjaira jutó diffúz sugárzási megoszlása függ az árnyékvetőtől, a tájolástól és a vizsgált időponttól is. Ez izotrópia esetében jelentősen egyszerűsödik (72. ábra), hiszen ekkor csak az árnyékvető geometriája van hatással az eloszlásra. Ezért ebben az egyszerűsített esetben több száz vizsgálat elhagyható és az ablak egyetlen viszonyzámmal jellemezhető. Az eljárás azonban még ebben az „egyszerű” formájában sem végezhető el számítógép<sup>218</sup> használata nélkül. A fentieket figyelembe véve árnyékolt ablakfelületre érkező diffúz besugárzás mennyisége egy adott esetben:

$$I_{\text{árny(dif)}} = I_d \cdot R_{\text{dif}} \quad [\text{K.24}]$$

### Reflektált sugárzás

Az árnyékvető a sugárzás reflektált összetevőjét is befolyásolja. Ennek a hatása azonban nagyon nagy mértékben függ a környezettől, az ablak magasságától és a felületek kialakításától is.



72. ábra

Az árnyékvető a reflektált sugárzásból kitakarhat részeket, de a felülete is visszaverhet sugárzást. Mivel a globálsugárzásnak a reflexió nagyon kis hányadát teszi ki, ezért ennek a jelenségnek az elhanyagolásával kis számolási hibát vétünk, azonban a számolást jelentősen egyszerűsítjük. Amíg kísérletekkel nem sikerül feltárni a reflektált sugárzás jellemzőit, addig ez az egyszerűsítés elfogadható, a számszaki hiba elhanyagolható.<sup>219</sup> A javasolt számítás az izotróp<sup>220</sup> modellt alkalmazva:

$$I_{\text{árny(ref)}} = I \cdot \rho_g(\beta/180) \quad [\text{K.25}]$$

Egy adott árnyékvető és ablak összbesugárzása meghatározott tájolás és időpont esetében a következőnek adódik:

$$I_{\text{árny}} = I_b \cdot R_b \cdot (A_{\text{napos}} / A_{\text{teljes}}) + I_d \cdot R_{\text{dif}} + I \cdot \rho_g(\beta/180) \quad [\text{K.26}]$$

$I_{\text{árny(dif)}} - (\text{Wh/m}^2)$   
az ablak ilvegezésére  
érkező diffúz  
besugárzás mértéke  
(árnyékolt)

$I_{\text{árny(ref)}} - (\text{Wh/m}^2)$   
az ablak ilvegezésére  
érkező reflektált  
besugárzás mértéke  
(árnyékolt)

$I_{\text{árny}} - (\text{Wh/m}^2)$   
az ablak ilvegezésére  
érkező összbesugárzás  
(árnyékolt)

**Teljes besugárzás**  $-(I)$   
vízszintes felületen  
számítva  $[J/m^2]$

218 Az izotróp modell vizsgálatokor is több száz pontban kell elvégezni az árnyékmasszakeresztést és a nehezen számolható diffúz eloszlás értékét.

219 Vannak olyan esetek, amikor ez az elhanyagolás nem megengedhető. Ilyen eset például tükrök és vízfelületek alkalmazása lehet, amikor a reflexió már nagyobb szerepet játszik. Ilyen esetekben egyedi számítógépes modell felállítása válhat szükségessé.

220 Az elhanyagolások miatt az izotrópia feltételezése elfogadható.

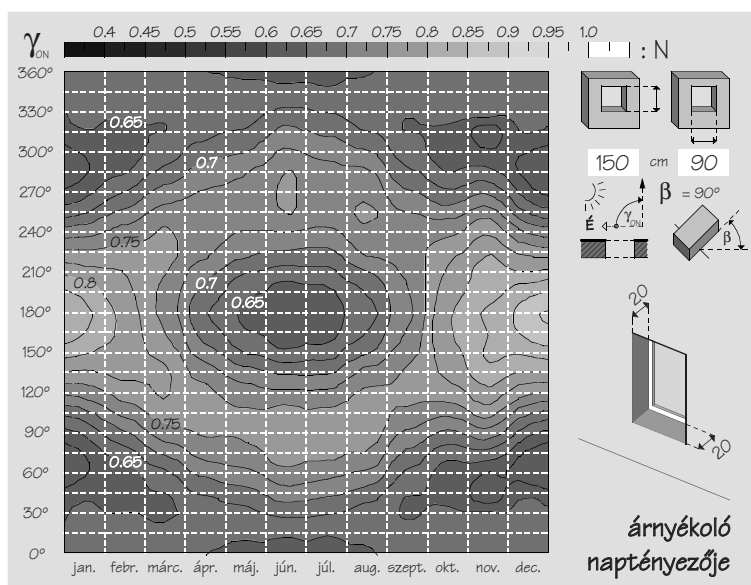




Az árnyékolt ablakfelületre érkező össz sugárzási adatok ismerete ( $I_{\text{árny}}$ ) az energetikai számításokhoz nélkülözhetetlen. A sugárzási adatok helyett az árnyékvetők esetében is célszerűnek látszik a már „bevált” naptényezőök használata.

$$N_{\text{árny}} = I_{\text{árny}} / I_T \quad [K.27]$$

Egy meglévő vagy tervezett árnyékvető esetében ezt az értéket minden órák közre és reprezentáns napra<sup>221</sup> ki kellene számolni. Ha még a tervezés fázisában szeretnénk eldönteni, hogy az árnyékvető melyik tájolás esetében használható a leghatásosabban, akkor az előbb említett kalkulációkat égtájak szerint is ki kell bővíteni. Ekkora adathalmaz a gyakorlati vizsgálatok szempontjából használhatatlan. Ezért a pillanatnyi naptényező ( $N_{\text{árny}}$ ) helyett a napi súlyozott átlag ( $N_{\text{á}}$ ) bevezetése indokolt. Ez az eljárás lehetővé teszi, hogy egy árnyékvetőt egyetlen táblázatban ábrázoljunk.



73.ábra

$$N_{\text{á}} = H_{\text{árny}} / H_T \quad [K.28]$$

A naptényezőkből szerkesztett grafikonok (73. ábra) tervezhetővé<sup>222</sup> teszi az árnyékvető szerkezeteket. Ezzel eldönthető, hogy egy betervezett szerkezet valóban a kívánt időszakban adja a legnagyobb árnyékhatást és mennyire „káros” a téli időszakban. A táblázatok elemzéséből az is kitűnik, hogy egy „valós” árnyékvető naptényezője nem kisebb 0.3-as értéknél.<sup>223</sup> Ez a csak részben árnyékolható diffúz komponens jelentőségét emeli ki.

A 73. ábra egy kavaszerkezet árnyékolását mutatja be. Napjainkban az ablak síkja nagyon közel található a fal síkjához és homlokzati díszként is ritka a „kőkeret”. Pedig akár 20 cm-es ablak „süllyesztés” is jelentős árnyékhatást biztosít nyáron, déli tájolás esetében. Más tájolásnál azonban „hatásosabb” árnyékolást célszerűbb választani, észak felé pedig akár kedvezőtlennek is tekinthető.

$H_{\text{árny}}$  - ( $Wh/m^2$ )  
az árnyékolt ablak felületére érkező direkt besugárzás (árnyékolt)

221 Nem elég a nyári tervezési értékeket kiszámítani, hiszen szükségünk van a téli nyereség ismeretére is. Mobil árnyékolók esetében a teljes év ismeretében eldönthető az árnyékvető szerkezet optimális használata.

222 Az árnyékvető szerkezetek jellemzésére ezidáig nem létezett olyan szemléletes paraméter, ami azok használhatóságára vonatkozott volna.

223 Természetesen készíthető olyan árnyékvető, ami ennél jobban árnyékol, azonban azok inkább a kivételek közé tartoznak.

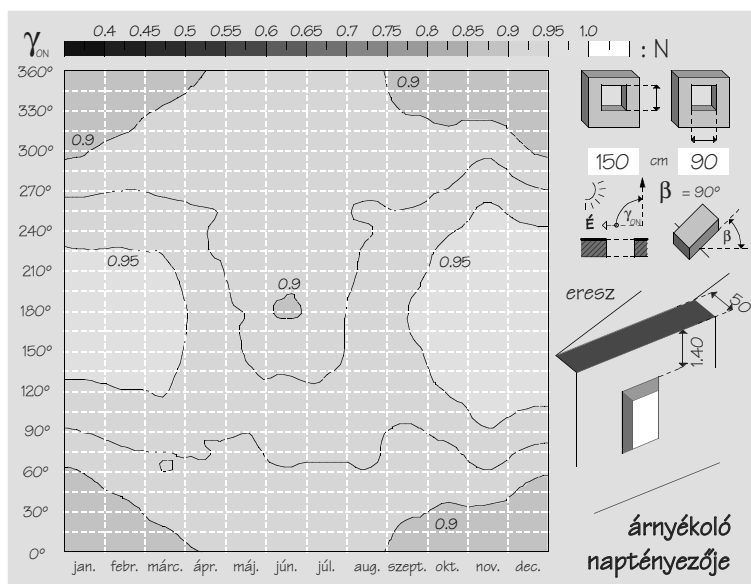


A napi tervezési gyakorlatban árnyékvetőkkel leggyakrabban párkányok,<sup>224</sup> ereszek illetve erkélyek formájában találkozhatunk. Az épületeink nagy részén azonban csak a tető<sup>225</sup> kinyúlása jelenti az egyetlen védelmet a nap sugaraival szemben.

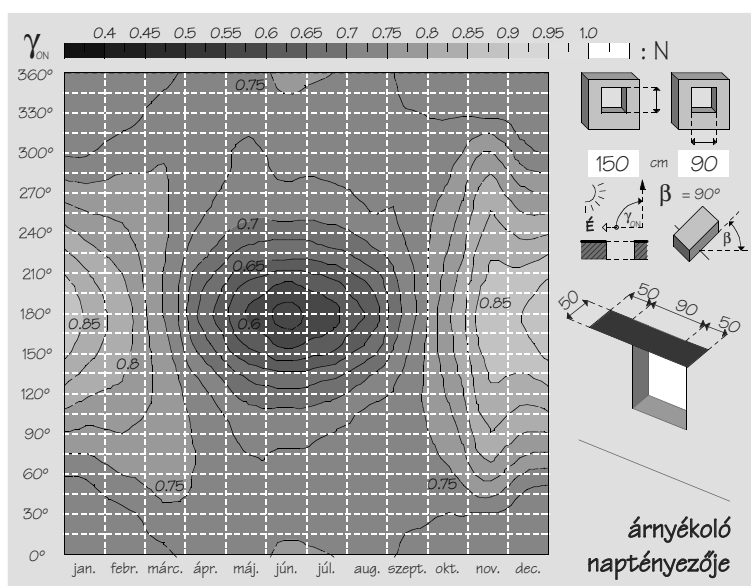
A vizsgált épületek között a legnagyobb százalékban a tetőtérbeépítéses, földszintes családi házak fordulnak elő. Ilyen építésnél a földszinti ablak felső vonala és a tető eresz magassága - a tapasztalat alapján<sup>226</sup> - közel állandó távolságban található minden (74. ábra) épületnél. Ettől eltérést csak a tető kinyúlása jelenthetne, azonban általánosan az sem nagyobb 50 - 80 cm-nél. Nagy kiülésű tetővel a szerkezeti és beépítési problémák miatt csak ritkán találkozhatunk. Ezért a családi házak legtöbbje nem olyan kialakítású, hogy a tető árnyékvetése gyakorlati szerepet játszana.

A rögzített árnyékvetők közül az erkélylemezek jelentősége emelhető ki. Ezek a szerkezetek akkor jelentősek az árnyékolás szempontjából, ha nagy kiülésűek és lehetőleg az árnyékolt ablak felett kis távolságban találhatóak.

Az erkélyek vizsgálatát az egyéb<sup>227</sup> árnyékvetők között érdemes elvégezni - hiszen a geometriájuk a fontos - és nem az építésük elsődleges célja. Ilyen szerkezet vizsgálatára mutat példát a 75. ábra. Az eredmények szerint a déli irányhoz közeli tájolás esetén használható hatékonyan a fenti szerkezet.



74. ábra



75. ábra

224 A nagy kiülésű párkányok szinte teljesen eltűnőfélben vannak, a mai gyakorlat - ha díszít egyáltalán - leginkább csak síkbeli festéssel teszi. Azonban a kis kiülésű párkányok is jelentősen árnyékolhatnak, ahogy azt a 73. ábra szemlélteti.

225 Az építészek között napjainkban nagy divatja van a lapostetős „modern” családi házaknak, ahol szinte semmilyen árnyékot adó forma sincsen. Ez a divat nagyon sok szempontból ellentmond az „öko-logikus” gondolkodásnak, teret adva az épületszerkezettani problémák garmadájának.

226 A tetőtér lábazata átlagosan 90 cm, a földszinti belmagasság pedig 2.70 méter.

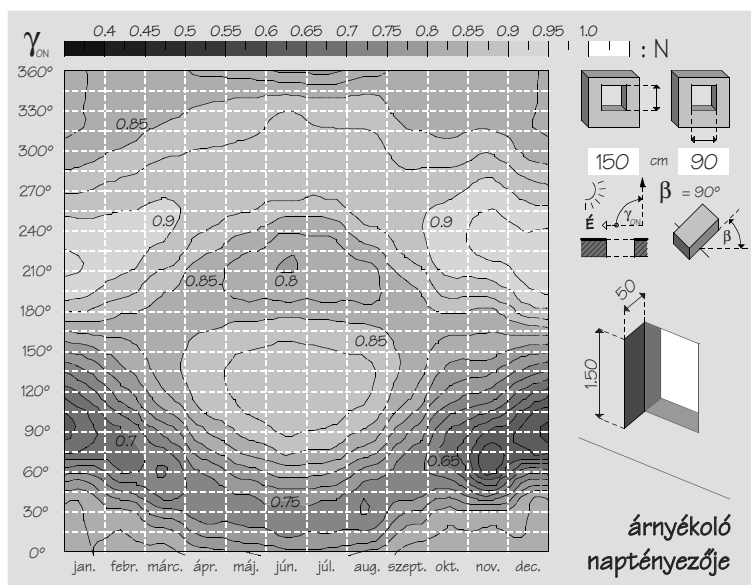
227 Az árnyékvetők méret szerinti vizsgálatát elkezdtem, az első eredményeket a melléklet tartalmazza. A topológiai részletes feldolgozás azonban még hátravan.



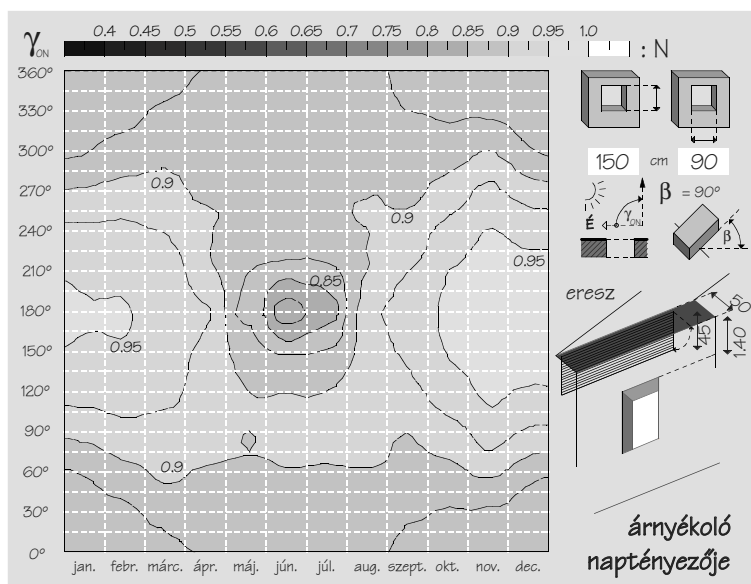
Mivel árnyékolásra főként a nyári meleg időszakban van szükség, a fix árnyékolók „téli“ periódusban inkább károsak a lakás energiamérlege szempontjából. Ezt az ellentmondást mozgatható mobil árnyékolók használatával lehet feloldani.

A legegyszerűbb mobil szerkezet a kihajtható zsalutábla. Ilyen árnyékolóval a népi építészetben nagyon sok helyen találkozhattunk, de napjainkra szinte teljesen eltűnt az építészek (s)palettájáról. A becsukható zsalutáblák pedig készülhetnek hőszigetelő anyagból,<sup>228</sup> minimálisra csökkentve télen az éjszakai veszteségeket. Sok példa akad árnyékoló lamellás kialakításra,<sup>229</sup> ami a nyári időszakban kiváló, de kísérletek történtek fázisváltó töltettel kialakított<sup>230</sup> szerkezetekre is. Az igényeknek megfelelően ezek kombinációja is elképzelhető, hiszen kivehető hőszigetelő táblákat is használhatunk. A tömör táblák félig nyitott állapotukban (76. ábra) is jelentős árnyékhatást jelentenek. Az természetesen nem mindegy, hogy mikor melyik táblát hajtjuk be vagy nyitjuk ki.

A tetőtérbeépítéses épületek esetében magasra kerül az eresz, ami csak kis árnyékhatást jelent. Ez jelentősen fokozható lenne, ha az eresz alsó vízszintes síkjába épített árnyékvetőt nyáron lehajtjuk. Ilyen szerkezet (77. ábra) használata építészeti is indokolható, hiszen más éghajlati körülményhez megjelenésében is alkalmazkodik az épület. Ilyen szerkezet épületszerkezettanilag nem jelent gondot,<sup>231</sup> formailag pedig jelentős játéklehetőséget biztosít az építészek számára. Ilyen táblák készülhetnek teljes hosszban vagy kis szakaszokban az ablakok felett kialakítva.



76. ábra



77. ábra

228 Hideg, esti órákban bezárva minimálisra csökkenti az ablakok hőveszteségét.

Tipikus „külföldi“ példaként a muskátli alpesi házakat lehet felhozni.

229 A mediterrán építészet karakteres eleme, különféle nyitási módszerekkel.

230 Hideg időben a kinyitott zsalukba épített „tömeg“ felmelegszik a napsugaraktól, este behajtva ez a tárolt hőmennyiség a szobába sugárzik.

231 Szélteherrel szemben a szerkezet kitámasztása szükséges lehet.



Családi házas beépítések esetében fontos szerepet játszik a besugárzás meghatározásakor a környezet is. Figyelembe kell venni a szomszédos épületek<sup>232</sup> és a környező növények árnyékoló hatását is. A szomszédos épületek általában adottságként szerepelnek, a növényzet telepítése azonban tervezési feladatokat is jelenthet.

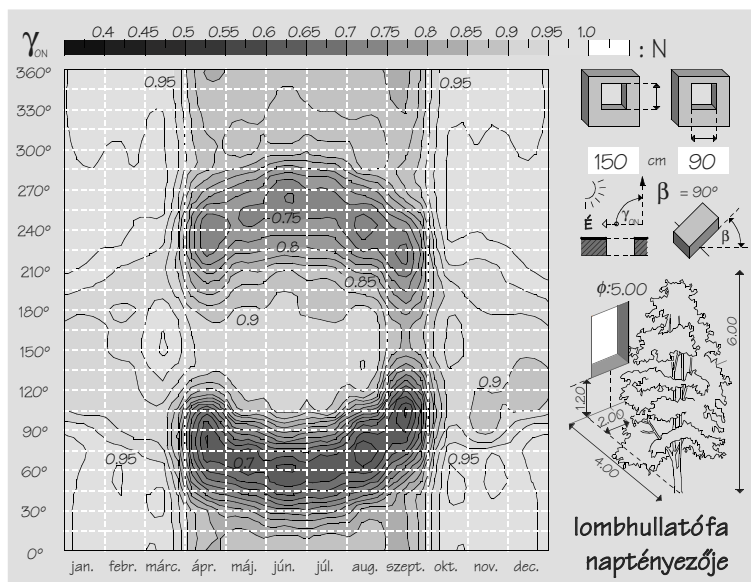
A legklasszikusabb árnyékvető szerkezetek a fák, amelyek árnyékos lombkoronája alatt évezredek óta hűsölnek az emberek. A növényzet telepítésekor azonban nagyon gondosan meg kell határozni az ültetés helyét, hiszen különféle tájolások esetében (78. ábra) változik az árnyékolás hatékonysága. A lombkorona alakjára és várható méretére is célszerű a tervezéskor gondolni.

Sok kertben divatos örökzöldek pompáznak folyamatosan egész évben. Ennek a növénytípusnak nagy előnye, hogy ősszel nem kell a lehullott lombot eltakarítani és egész évben „szépek”. Azonban a téli időszakban (79. ábra) sokat csökkentenek a benapozás<sup>233</sup> mértékén, így közvetve megemelik a fűtési számlákat. A telepítésükkor ezért mérlegelni kell minden szempontot.

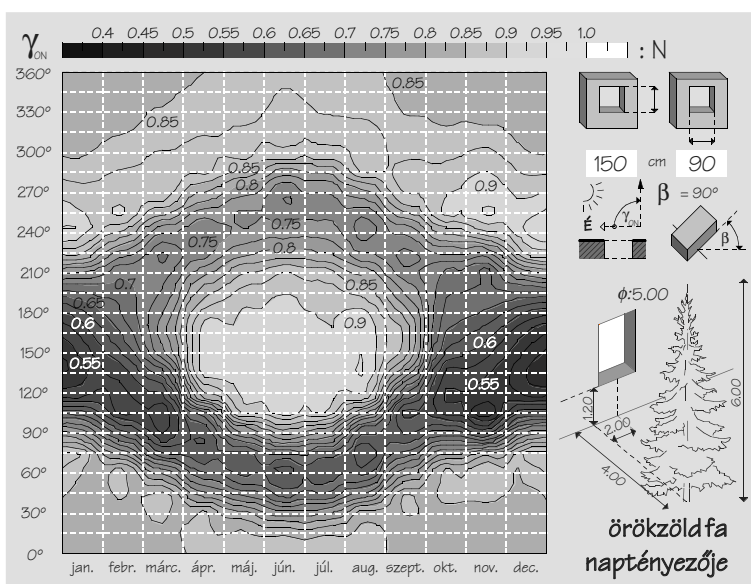
Az árnyékvetők tervezéséhez kidolgozott naptényezőket tartalmazó ábrák<sup>234</sup> segédletként jó szolgálatot tehetnek a tervezőknek és beruházóknak is. Segítségükkel egy adott időpontban a helyiségbe jutó energiaáram a következő összefüggésből számítható:

$$q_{\text{ablak}} = N_{\text{ablak}} \cdot N_{\text{á}} \cdot I_{\text{SRG}} \quad [\text{K.29}]$$

$$q_{\text{ablak}} = N_{\text{ablak}} \cdot N_{\text{á}} \cdot N_{\text{ó}} \cdot I_{\text{T}} \quad [\text{K.30}]$$



78. ábra



79. ábra

232 Magas épületek között az árnyékhataás akár a tetőterekben is érzékelhető.

233 Szolár épületek esetében nagyon fontos szempontként jelentkeznek.

A közterületek hatalmasra megnövő fái általában mindig lombhullatók.

234 A segédlet ezidáig csak részben készült el, mivel egy grafikon elkészítéséhez szükséges adatokat egy G3-as számítógép fél napig számol. Anizotróp modell esetében ez akár egy teljes napot is igénybe vehet.



A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a mai modern építőanyagok hőtechnikai paramétereik alapján jelentősen különböznek a megszokott - a köztudat szerint - hagyományos szerkezetektől. Kimutatható, hogy a favázás épületek és a hagyományos „téglaházak“ között ebből a szempontból nem jelentős a különbség.

*építési különbségek*

Megfelelő tervezői magatartással egy „faház“ hőtárolóképességét nagyobbra lehet alakítani, mint egy téglaházét. Az eltűnő különbségek széleskörű megismertetésével a hazai faházépítési kedv is fellendülhet. A faházak jó szereplése azonban sajnos nem jelenti azt, hogy ez az építési mód fejlődött a nyári igények szerint, hanem azt, hogy a többi építési eljárás veszítette el a „tömegét“. Az összehasonlítás eredményei egyben azt is jelentik, hogy a nyári komfort problémák egységesen jelentkeznek. A probléma a hőtárolótömegek növelésével enyhíthető. Gondot jelent azonban, hogy a kialakult rétegrendek alig változtathatók<sup>235</sup> és a változások is kis léptékűek. Jelentős eredmény csak a tervezői szemlélet megváltoztatásával remélhető.

*azonos hőtárolás*

*a tervezői magatartás*

Az építési anyagok fejlődése azonban az építési szokások megváltozásával is együttjárt. A drága építési költségek szinte mindenhol kierőszerkeztetik a tetőtér beépítését. Itt azonban a nyári túlmelegedési gondok fokozottan jelentkeznek.

*tetőterek*

A felhasznált építőanyagok még kisebb tömegűek<sup>236</sup> és a ferde felületek nagyobb besugárzást kapnak. A tájolások áttekintése egyértelművé tette, hogy míg egy függőleges felület esetében jelentős besugárzási különbségek adódhatnak égtájként, addig a ferde felületeknél a besugárzás egységesen magas. A tetőtér tömegét nagyon nehéz növelni, hiszen a beépítés „olcsósága“ miatt nehéz az építetők plusz költségek megfizetésére ösztönözni, főleg ha a többletkiadások csak a kényelmet szolgálják.

*magasabb besugárzás*

A különbség a tetősíkban fekvő és abból kiemelkedő ablakok használatával tovább élezhető<sup>237</sup>. A „kutyáólak“ épületszerkezettanilag több veszélyforrást jelentenek, de jobban árnyékolhatók. Az ablakok méretét<sup>238</sup> is gondosabban kellene meghatározniuk a tervezőknek, igaz, ezidáig dőlésszög szerinti bontásban összehasonlító táblázatok<sup>239</sup> sem álltak a rendelkezésükre.

*tetőablakok*

235 A hőtárolás szempontjából az anyagi jellemzők fontosabbak, mint az egyes rétegrendek apró változásai.

236 Az egyrétegű gipszkarton nagyon „könnyű“ szerkezet.

237 A két ablaktípus „harcát“ az épületfizikai paraméterek mellett az aktuális politika, a műemlékvédelem és a nagy cégek lobbierdekei is befolyásolják.

238 A világos terek kialakításának az igénye minden megrendelőnél jelentkezik. A ferde felületek nagyobb bevilágítása miatt az 1:8 ablakfelület nem indokolt.

239 A benapozási adatok részletes ismertetésére a mellékletben kerül sor. A táblázatok mellett fontos szerep juthat a kidolgozott algoritmusoknak is. Az eredmények a napkollektorok és napelemek esetében is nélkülözhetetlenek.



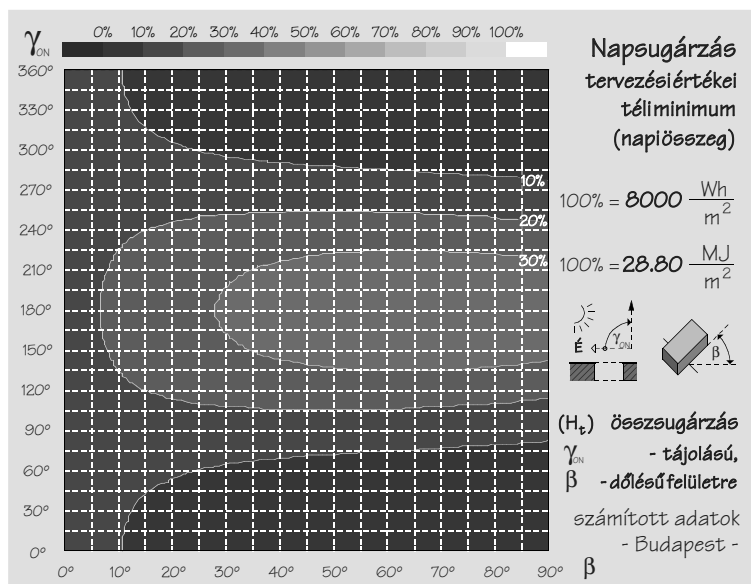
A napsugárzás téli és nyári értékeit összehasonlítva fontos következtéseket lehet levonni. A téli időszakban (80. ábra) az alacsony besugárzás a tájolástól és nem a felület dőlésszögétől függ. A nyári tervezési értékek (81. ábra) azonban a dőléstől nagyobb mértékben függenek, mint az égtájtól. Alacsony dőlésű tetőtér esetében a legkisebb érték is majdnem kétszerese a legnagyobb függőleges értéknek. Ez indokolná, hogy a szabvány is külön foglalkozzon a tetőtér nyári hőkomfortjával.

A szabványban lefektetett logikát továbbgondolva egy déli 35°-os tetősíkablakos tetőtér nyári hőtárolótömegét ~ 6000-8000 kg/m<sup>2</sup>-ben kellene meghatározni. Ez azonban olyan erős megkötés, amit nem lehetne betartatni.

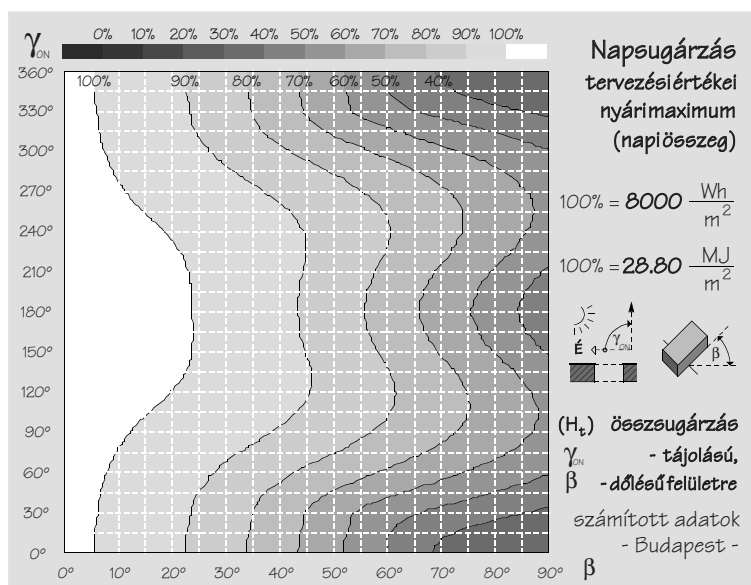
A feladat reménytelenségét tovább növeli, hogy a ferde ablakok esetében árnyékvetőket nagyon nehéz használni. Az árnyékolók használata nyáron szinte csak úgy lehet kielégítő, ha a bevilágítás nem elégséges. A függőleges felületek sokkal egyszerűbb problémát jelentenek, hiszen ott elfogadhatóbb az árnyékvetők használata is.

A tervezőknek azonban nem állt semmilyen segítség a rendelkezésükre, amivel meg tudták volna állapítani az egyes árnyékolók hatékonyságát. Az árnyékvetőkre kidolgozott naptényezőzők módszere ebben adhat segítséget. A benapozási adatok mellett a naptényezőket bemutató segédletek elkészítése is indokoltá<sup>240</sup> vált.

A nyári hőkomfort vizsgálatok azonban nem vettem figyelembe minden paramétert. A komfortot befolyásolják a csomóponti kialakítások, a szellőztetés és a használati mód, valamint a tömegképzés is. Gépészeti berendezések használatával, -drága és környezet-szennyező gépekkel- természetesen lehet a problémát mérsékelni.



80. ábra



81. ábra

240 Ilyen segédletek elkészítését elkezdtem kidolgozni, az építészet sokszínűsége és a számítás - még számítógéppel is - időigényessége miatt a munka azonban csak lassan készül el.



A vizsgálatokat arra éleztem ki, amit az építészek a tervezés során passzív módszerekkel is befolyásolhatnak. Ha ezen a téren eredményeket tudunk felmutatni, akkor nemcsak kényelmesebbek, hanem olcsóbbak is lehetnek a lakásaink. Ennek célnak az elérését a kutatási eredményeim a következőkben segítik:

- Igazoltam, hogy a nyári hőkomfortra vonatkozó szabvány<sup>241</sup> előírásait a jelenlegi építőanyagok használatával nem lehet kielégíteni.
- A hőtárolótömeg növelésének lehetőségeit vizsgálva faszerkezetű épületekben alkalmazható, fázisváltó, hőtároló töltetes szerkezetet fejlesztettem ki, amellyel bizonyítottam e megoldás technikai lehetőségeit.
- Kidolgoztam egy számítási eljárást, amivel a hazai besugárzási adatok tervezhetővé váltak.
- A ferde felületeket és ablakokat érő besugárzás számítására új eljárást dolgoztam ki.
- Kidolgoztam egy számítási- és ábrázolási eljárást, amely alkalmas az árnyékvetők naptényezőjének meghatározására a folyamatosan változó árnyék figyelembevételével is.
- Kutatási eredményeim bebizonyították, hogy transzparens ferde felületek esetében a szabvány<sup>241</sup> nyári hőkomfortra vonatkozó előírásai elégtelenek; azokat tájolás és dőlésszög alapján is szabályozni kell.

A kidolgozott módszerek nem adnak egyetlen kiválasztható jó megoldást. A tervezőknek kell mérlegelnie, hogy mi az, amit kiválaszt, de neki kell azzal is tisztában lennie, hogy a választás milyen következményekkel jár. Ezt a döntést teszik lehetővé - az ezidáig teljesen hiányzó - kidolgozott módszerek és eredmények. A kidolgozott tervezési segédletek azonban csak kiegészítik mindazt a tudást, amit az építészek felhalmoztak az évszázadok alatt.

*a döntéshozó felelőssége*

**„Tehát, amint a világ felépítése, a Föld térségein az állatöv hajlása és a Nap pályája révén természetétől különbözően oszlik el, úgy lát-szik, hogy ugyanígy a tájaknak is az ég változása szerint kell irányítani az épületek elrendezését. ... a Nap heves támadásának kitett dé-li tájak alatt, mivel ezeket nyomasztja a hőség, nyitottabb és észak vagy északkelet felé forduló épületeket kell emelni. Így ami kárt még a természet okoz, azt mesterségesen kell kijavítani “**<sup>242</sup>

(Vitruvius)

241 MSz-04-140-2:1991

242 Vitruvius: Tíz könyv az építészetéről, Képzőművészeti Kiadó, Budapest, (1988.)



- Dám László: Építkezés, Néprajz Egyetemi Hallgatóknak (13), Debrecen, (1992.)
- Farkasné Takács Olga: Szórt sugárzás a déli irányítású függőleges felületen  
Időjárás,(OMSz), 86. évf. 6. szám. (1982.)
- Farkasné Takács Olga: A tipikus sugárzásmeteorológiai évben a függőleges felületre jutó szórt  
sugárzás adatsorai  
Időjárás,(OMSz), 93. évf. 5. szám. (1989.)
- Takács Olga: A vertikális felületre jutó napsugárzási energia napi menete és gyakorisági  
eloszlása.  
Időjárás, Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSz), 85. évf. 1. sz.(1981.)
- Takács Olga: A függőleges és vízszintes felületre jutó szórt sugárzás aránya  
Időjárás, OMSz, 85. évf. 4. szám. (1981.)
- Takács Olga: A keleti és nyugati irányítású vertikális felületre jutó napsugárzási energia  
napi menete és gyakorisági eloszlása  
Időjárás, (OMSz), 85. évf. 5. szám. (1981.)
- Fekete Iván: Épületfizika kézikönyv  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, (1985.)
- Gábor László-:  
Zöld András: Energiagazdálkodás az építészetben  
Akadémiai Kiadó, Budapest, (1981.)
- Gyurcsovics Lajos: Hőtermelés napsugárból  
Műszaki Könyvkiadó, (1987.)
- Koszó József: Árnyékolók és függönyök  
Dunakanyar, Budapest, (2000.)
- Kosztolányi Balázs: Fix árnyékoló szerkezetek naptényezőjének számítása  
Épületgépészet (1973.)
- Kuba Gellért: Benapozás  
Iparterv, Budapest, (1975.)
- Kuba Gellért: A függőleges felületek napenergia felvételének szabályozása szoláris  
tájékolással  
BME, Ipari és Mezőgazdasági Épülettervezési Tanszék, Budapest, (1988.)
- Kuba Gellért: Ökológikus építészet  
Orvosbiológiai mérnökképzés, BME, (1997.)





- Major György: A napenergia hasznosítás meteorológiai megalapozása Magyarországon. Budapest, (1985.)
- Major György: Tipikus meteorológiai év szerkesztése. Országos Meteorológiai Szolgálat Kiadványai 68. szám, Budapest, (1992.)
- Majoros András: Adott diszpozíciójú felületek benapozása segédlet, BME, ÉSZBI II. Épületgépészeti Tanszék, Budapest, (1988.)
- Majoros András: Belsőterek világítása Műszaki Könyvkiadó, Budapest, (1998.)
- Novák Ágnes: A szolár építészet alapjai YMMF LABOR5, Budapest, (1995.)
- Részegh Csaba: Könnyűszerkezetes oktatási és nevelési épületek mikroklímája Építésügyi Tájékoztató Központ Budapest, (1984.)
- Szabó Gyula-: Napsugárzási adatok az építőipari tervezés számára Tárkányi Zsuzsanna ÉTI Budapest, (1969.)
- Szabó Gyula: Üvegezések és árnyékoló szerkezetek naptényezője Épületgépészet I. (1971.)
- Szabó Gyula: Árnyékolt és árnyékolás nélküli üvegezések energiaáteresztése Épületgépészet (1973.)
- Szokolay Vajk: A napsugárzás geometriája BME-YMMF, LABOR5, Budapest, (1996.)
- Zöld András: Csúcstechnológia az épületek hővédelmében YMMF LABOR5, Budapest, (1995.)
- Zöld András: Épületfizika Műegyetem Kiadó, (1995.)
- Zöld András: Passzív szolár fűtés YMMF LABOR5, Budapest, (1995.)
- Zöld András: Energiatudatos építészet Műszaki Könyvkiadó, Budapest,(1999.)
- Winkler Oszkár: Fa és faalapanyagú épületek



- kézirat, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron, (1975.)
- AIA: Shading and Sun Control. Architect's Handbook of Energy Practise, The American Institute of Architects, USA, (1981.)
- Dien, Nguyen Huong: Anizotróp modell a függőleges felületre jutó napsugárzás óraértékeinek számítására  
Időjárás, (OMSz), 89. évf. 2. szám. (1985.)
- Duffie, John A.: Solar engineering of thermal processes.  
William A. Beckman John Wiley & Sons, INC. USA, (1991.)
- Erbs, D. G.-: Estimation of the Diffuse Radiation Fraction for Hourly, Daily, and  
S.A. Klein- Monthly-Average Global Radiation  
J. A. Duffie Solar Energy, 28,293 (1982.)
- Liu, B. Y. H.-: The Intereelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and  
R. C. Jordan Total Solar Radiation  
Solar Energy, 4(3), 1, (1960.)
- Liu, B. Y. H.-: The Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar-Energy  
R. C. Jordan Collectors  
Solar Energy, 7, 53, (1963.)
- Olgyay & Olgyay: Solar control & Shading devices  
Princeton University Press, Princeton, New Jersey, (1957.)
- Perez, Richard: Modeling daylight availability and irradiance components from direct and  
global irradiance  
Solar Energy Vol. 44, No. 5. (1990.)
- Építésügyi Ágazati Szabvány MSZ-04-140-2:1991





A doktori dolgozatot Apple Macintosh G3 számítógépen, Microsoft Word 5.1 szövegszerkesztővel készítettem. A számítások elvégzését a HyperCard 2.4.1 és a MathPad 2.5.2 segítségével végeztem, az ábrákat pedig ArchiCad 6.0 valamint ArchiSITE 5.0 és PlotMaker 2.2 programokkal rajzoltam meg.

Az árnyékolószerkezetek vizsgálatára HyperTalk<sup>M1</sup> programot írtam. A nyelv programozása nem lineáris szerkezetű és nagyon sok -a vizsgálat szempontjából- érdektelen, kiegészítő rutint tartalmaz. A számítás követhetősége, valamint a dokumentáció hűsége miatt szükségesnek tartom a program lényegi<sup>M2</sup> elemeinek a közlését.

### A fontosabb adatok:

#### [Data03]

```
000,000,000,000,000,025,014,000,000,000,000,000,031,000
000,000,000,020,083,140,097,026,000,000,000,000,163,000
000,001,020,084,171,173,201,135,059,009,000,000,314,000
002,026,088,190,290,333,338,264,176,073,004,001,490,000
036,128,187,306,407,452,461,398,300,177,050,026,611,055
097,173,285,407,501,549,557,505,412,274,104,074,734,148
151,244,355,480,564,615,612,583,495,342,152,074,829,209
183,286,387,512,598,629,636,612,527,380,179,144,900,240
188,280,380,508,583,618,613,601,512,374,183,145,900,240
164,250,349,470,534,578,571,556,469,334,155,121,829,209
112,192,278,393,461,506,508,490,387,254,110,079,734,148
052,121,200,311,368,411,415,391,285,159,055,031,611,055
008,044,113,206,267,314,311,263,166,062,004,008,490,000
000,006,034,102,167,202,204,144,055,008,000,000,317,000
000,000,000,018,074,129,086,045,000,000,000,000,172,000
000,000,000,000,000,033,013,000,000,000,000,000,031,000
000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000
000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000
000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000
```

#### [Data04]

```
000,000,000,000,000,005,003,000,000,000,000,000,010,000
000,000,000,005,023,034,027,015,000,000,000,000,093,000
000,000,008,030,070,100,088,058,014,000,000,000,212,000
000,012,036,085,130,180,170,125,052,016,001,000,354,000
012,032,088,151,205,280,258,210,110,056,016,010,454,031
025,068,137,214,279,343,312,290,175,109,047,020,568,095
043,095,175,248,320,360,335,325,252,155,053,037,651,145
054,110,185,248,332,365,330,331,240,190,076,047,712,172
053,105,180,244,300,345,320,319,232,175,074,048,712,172
043,088,152,217,256,320,275,285,200,148,058,035,551,145
024,057,113,168,212,269,233,229,151,104,035,018,568,095
009,028,065,118,158,210,177,174,097,049,011,006,454,031
000,007,025,062,095,135,118,103,042,012,001,000,354,000
000,000,005,018,044,073,056,039,007,000,000,000,212,000
000,000,000,003,014,025,016,010,000,000,000,000,093,000
000,000,000,000,000,006,003,000,000,000,000,000,010,000
000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000
000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000
000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000
```

### A megírt assembler rutinok (XFNS):

```
function cosin alfa
  put cos(alfa*pi/180) into ered
  return ered
end cosin

function acos alfa
  put sqrt(1-alfa*alfa) into beta
  put atan(beta/alfa)*180/pi into ered
  if alfa = -1 then put 180 into ered
  if ered < 0 then put 90+(90+ered) into ered
  return ered
end acos

function sinus alfa
  put sin(alfa*pi/180) into ered
  return ered
end sinus

function asin alfa
  put sqrt(1-alfa*alfa) into beta
  put atan(alfa/beta)*180/pi into ered
  return ered
end asin

function tang alfa
  put tan(alfa*pi/180) into ered
  return ered
end tang

function atang alfa
  put atan(alfa)*180/pi into ered
  return ered
end atang
```

M1 Az Apple HyperCard programjának a leíró nyelve.

M2 A leírás a futtatáshoz szükséges minden fontos elemet tartalmaz.



on **adatszög**

```
global
Latitude, Longitude, Slope, Surfazimuth, Gsc, Surfazi
put line 1 of bkgnd field "Adat00" into Latitude
put line 2 of bkgnd field "Adat00" into Longitude
put line 1 of bkgnd field "Slope" into Slope
put line 1 of bkgnd field "Surfazimuth" into Surfazi
put 180-Surfazi into Surfazimuth
put 1367 into Gsc
end adatszög
```

```
function ShadeArea GAsík, ALSík, GAegy, ALegy
put item 1 of line 1 of bg field "Ablak+04" into ab1
put item 2 of line 1 of bg field "Ablak+04" into ab2
put item 1 of line ab1 of bg field "Ablak+03" into minx
put item 3 of line ab1 of bg field "Ablak+03" into miny
put (item 1 of line ab2 of bg field "Ablak+03") into
maxx
put (item 3 of line ab2 of bg field "Ablak+03") into
maxy
put (432-(maxx-minx))/2 into xmeg
put (432-(maxy-miny))/2 into ymeg
put minx+xmeg into x1
put miny+ymeg into y1
put maxx+xmeg-1 into x2
put maxy+ymeg-1 into y2
GraphLib "RGBForeColor", 0,136,0
GraphLib "OpenPoly"
GraphLib "MoveTo", x1, y1
GraphLib "LineTo", x1, y2
GraphLib "LineTo", x2, y2
GraphLib "LineTo", x2, y1
GraphLib "ClosePoly"
GraphLib "PaintPoly"
GraphLib "KillPoly"
put number of lines of bg field "Ablak+02" into
ablakdb
repeat with ablakpoly=1 to ablakdb
put number of items of line ablakpoly of bg field
"Ablak+02" into polydb
put item 1 of line ablakpoly of bg field "Ablak+02"
into sor
put item 1 of line sor of bg field "Ablak+03" into Ex
put item 3 of line sor of bg field "Ablak+03" into Ez
GraphLib "RGBForeColor", 255,255,255
GraphLib "OpenPoly"
GraphLib "MoveTo", Ex+xmeg, 432-(Ez+ymeg)
repeat with ablakpont=2 to polydb
put item ablakpont of line ablakpoly of bg field
"Ablak+02" into sor
put item 1 of line sor of bg field "Ablak+03" into Ex
put item 3 of line sor of bg field "Ablak+03" into Ez
GraphLib "LineTo", Ex+xmeg, 432-(Ez+ymeg)
end repeat
```

```
GraphLib "ClosePoly"
GraphLib "PaintPoly"
GraphLib "KillPoly"
end repeat
cls
put 90-ALSík into ALSík
put GAegy-GAsík into GA
put ALegy-ALSík into AL
put cosin(AL)*sinus(GA) into Vx
put cosin(GA)*cosin(AL) into Vy
put sinus(AL) into Vz
put number of lines of bg field "Árnyékoló+02" into
shadedb
repeat with shadedpoly=1 to shadedb
put number of items of line shadedpoly of bg field
"Árnyékoló+02" into polydb
put item 1 of line shadedpoly of bg field
"Árnyékoló+02" into sor
put item 1 of line sor of bg field "Árnyékoló+03" into
Ex
put item 2 of line sor of bg field "Árnyékoló+03" into
Ey
put item 3 of line sor of bg field "Árnyékoló+03" into
Ez
put Ey/Vy into T
put Ex+Vx*T into xm
put Ez-Vz*T into zm
GraphLib "RGBForeColor", 221,0,0
GraphLib "OpenPoly"
GraphLib "MoveTo", xmeg+xm, 432-(zm+ymeg)
repeat with shadepont=2 to polydb
put item shadepont of line shadedpoly of bg field
"Árnyékoló+02" into sor
put item 1 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
into Ex
put item 2 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
into Ey
put item 3 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
into Ez
put Ey/Vy into T
put Ex+Vx*T into xm
put Ez-Vz*T into zm
GraphLib "LineTo", xmeg+xm, 432-(zm+ymeg)
end repeat
GraphLib "ClosePoly"
GraphLib "PaintPoly"
GraphLib "KillPoly"
end repeat
cls
set cursor to OK
return CountnoPix(x1,y1,x2,y2)M3
end ShadeArea
```



function **WindArea**

```

put item 1 of line 1 of bg field "Ablak+04" into ab1
put item 2 of line 1 of bg field "Ablak+04" into ab2
put item 1 of line ab1 of bg field "Ablak+03" into minx
put item 3 of line ab1 of bg field "Ablak+03" into miny
put (item 1 of line ab2 of bg field "Ablak+03") into
  maxx
put (item 3 of line ab2 of bg field "Ablak+03") into
  maxy
put (432-(maxx-minx))/2 into xmeg
put (432-(maxy-miny))/2 into ymeg
put minx+xmeg into x1
put miny+ymeg into y1
put maxx+xmeg-1 into x2
put maxy+ymeg-1 into y2
GraphLib "RGBForeColor", 0,136,0
GraphLib "OpenPoly"
GraphLib "MoveTo", x1, y1
GraphLib "LineTo", x1, y2
GraphLib "LineTo", x2, y2
GraphLib "LineTo", x2, y1
GraphLib "ClosePoly"
GraphLib "PaintPoly"
GraphLib "KillPoly"
put number of lines of bg field "Ablak+02" into
  ablakdb
repeat with ablakpoly=1 to ablakdb
  put number of items of line ablakpoly of bg field
    "Ablak+02" into polydb
  put item 1 of line ablakpoly of bg field "Ablak+02"
    into sor
  put item 1 of line sor of bg field "Ablak+03" into Ex
  put item 3 of line sor of bg field "Ablak+03" into Ez
  GraphLib "RGBForeColor", 255,255,255
  GraphLib "OpenPoly"
  GraphLib "MoveTo", Ex+xmeg, 432-(Ez+ymeg)
  repeat with ablakpont=2 to polydb
    put item ablakpont of line ablakpoly of bg field
      "Ablak+02" into sor
    put item 1 of line sor of bg field "Ablak+03" into Ex
    put item 3 of line sor of bg field "Ablak+03" into Ez
    GraphLib "LineTo", Ex+xmeg, 432-(Ez+ymeg)
  end repeat
  GraphLib "ClosePoly"
  GraphLib "PaintPoly"
  GraphLib "KillPoly"
end repeat
return CountnoPix(x1,y1,x2,y2)
end WindArea

```

function **declination** n

```

put 23.45*sinus(360*((284+n)/365)) into dec
return dec
end declination

```

function **Solartime** Longitude,n,óra

```

put (n-1)*360/365 into B
put 0.000075+0.001868*cosin(B)-0.032077*sinus(B)
  into seg1
put 229.2*(seg1-0.014615*cosin(2*B)-
  0.04089*sinus(2*B)) into E
put 4*(Longitude-15)+E+Standardtime(óra) into ered
return ered
end Solartime

```

function **Standardtime** óra

```

put óra*60 into time1
put (óra+1)*60 into time2
put (time1+time2)/2 into ered
return ered
end Standardtime

```

function **Hourangle** óra

```

put (Standardtime(óra)-720)/60 into óradélelőtt
put 15*óradélelőtt into ered
return ered
end Hourangle

```

function **Zenith** Latitude,n,óra

```

put declination(n) into dec
put cosin(Latitude)*cosin(dec)*cosin(Hourangle(óra))
  into seg2
put acos(seg2+sinus(Latitude)*sinus(dec)) into ered
return ered
end Zenith

```

function **Azimuth** Latitude,n,óra

```

put declination(n) into dec
put Hourangle(óra) into Hour
put acos(tang(dec)/tang(Latitude)) into omegaew
put asin((sinus(Hour)*
  cosin(dec))/sinus(Zenith(Latitude,n,óra))) into gamas1
if (abs(Hour)≤omegaew) then put 1 into c1
if (abs(Hour)>omegaew) then put -1 into c1
if ((Latitude-dec)≥0) then put 1 into c2
if ((Latitude-dec)<0) then put -1 into c2
if (Hour≥0) then put 1 into c3
if (Hour<0) then put -1 into c3
put (-1)*c1*c2*gamas1+c3*((1-c1*c2)/2)*180 into
  ered
return ered
end Azimuth

```

function **Napmagasság** Latitude,n,óra

```

put declination(n) into dec
put cosin(Latitude)*cosin(dec)*cosin(Hourangle(óra))
  into seg2
put asin(seg2+sinus(Latitude)*sinus(dec)) into ered
return ered
end Napmagasság

```



```
function Azi Latitude,n,óra
  put Azimuth(Latitude,n,óra) into Azimu
  put 180-Azimu into ered
  if ered ≥ 360 then put (ered-360) into ered
  if ered < 0 then put (360+ered) into ered
  return ered
end Azi
```

```
function Bezártszög Latitude,n,óra,Surfazimuth,Slope
  put Azimuth(Latitude,n,óra) into Azi
  put Zenith(Latitude,n,óra) into Zen
  put cosin(Zen)*cosin(Slope) into seg3
  put sinos(Zen)*sinos(Slope)*cosin(Azi-Surfazimuth)
  into seg4
  put acos(seg3+seg4) into ered
  return ered
end Bezártszög
```

```
on KörképM4
  put "116,116,316,316" into myRect
  put " Maci-HD :Körkép" into myPath
  GraphLib "DrawPictureFile",myPath,myRect
end Körkép
```

```
on Félményék
  put item 1 of line 1 of bg field "Slope" into Slo1
  put 90-Slo1 into Slo2
  put 100/sin(Slo2) into rv
  GraphLib "PenSize",1,1
  GraphLib "RGBForeColor", 0,136,0
  put 216 into xy
  put (100/tang(Slo2)) into yx
  if (Slo1 > 0) and (Slo1 < 90) then
    GraphLib "OpenPoly"
    GraphLib "MoveTo", 316, 216
    repeat with al=1 to 18
      put 10*al into bet
      put 100*cosin(bet)+xy into x
      put xy-(100*sinos(bet)) into y
      GraphLib "LineTo", x, y
    end repeat
    put Slo2/10 into inkr
    put -Slo2 into bet
    repeat with i=1 to 20
      put xy+rv*sinos(bet) into x
      put xy-((rv*cosin(bet))-yx) into y
      GraphLib "LineTo", x, y
      add inkr to bet
    end repeat
    GraphLib "LineTo", 316, 216
    GraphLib "ClosePoly"
    GraphLib "PaintPoly"
    GraphLib "KillPoly"
  end if
  if Slo1 ≥ 90 then
```

```
  GraphLib "PaintArc", "116,116,316,316",270,180
  end if
end Félményék
```

```
on Körök
  put err(100) into a
  put err(84) into a
  put err(70) into a
  put err(58) into a
  put err(47) into a
  put err(36) into a
  put err(27) into a
  put err(18) into a
  put err(9) into a
end Körök
```

```
function err r
  GraphLib "RGBForeColor", 221,0,0
  put 216 into xy
  put xy-r into x1
  put xy+r into y1
  put x1 & "," & x1 & "," & y1 & "," & y1 into kör
  GraphLib "FrameOval", kör
  return 0
end err
```

```
on ablakpont
  put "" into bkgnd field "GDL"
  put WindArea() into AreaW
  GraphLib "RGBForeColor", 221,0,0
  put item 1 of line 1 of bg field "Ablak+04" into ab1
  put item 2 of line 1 of bg field "Ablak+04" into ab2
  put item 1 of line ab1 of bg field "Ablak+03" into minx
  put item 3 of line ab1 of bg field "Ablak+03" into miny
  put item 2 of line ab1 of bg field "Ablak+03" into z1
  put (item 1 of line ab2 of bg field "Ablak+03") into
  maxx
  put (item 3 of line ab2 of bg field "Ablak+03") into
  maxy
  put (item 2 of line ab2 of bg field "Ablak+03") into z2
  put maxy-miny into ym
  put z1-z2 into zm
  put (432-(maxx-minx))/2 into xmeg
  put (432-ym)/2 into ymeg
  put minx into i
  repeat until i>=maxx
    put miny into j
    repeat until j>=maxy
      set cursor to OK
      put
      CountnoPix(xmeg+i,ymeg+j,xmeg+i+9,ymeg+j+9)
      into db0
      put xmeg+i+2 & "," & ymeg+j+2 & "," & xmeg+i+7
      & "," & ymeg+j+7 into kör
      GraphLib "PaintOval", kör
```



```

put i+5 into xp
put j+5 into yp
put z1-(((j+5)/ym)*zm) into zp
put return & xp & "," & zp & "," & yp & "," &
db0/AreaW after the last line of bkgnd field "GDL"
add 10 to j
end repeat
add 10 to i
end repeat
delete line 1 of bg field "GDL"
clall
end ablakpont

```

### on Számítás

```

global Latitude, Longitude, Slope, Surfazimuth, Gsc,
Lst
ablakpont
put number of lines of bg field "GDL" into lidb
put 10 into raster
put "" into bg field "Ki"
put 216 into xy
GraphLib "PenSize",1,1
repeat with i=1 to lidb
  Körkép
  Félárnyék
  Körök
  GraphLib "RGBForeColor", 0,136,0
  put item 1 of line i of bg field "GDL" into xp
  put item 2 of line i of bg field "GDL" into yp
  put item 3 of line i of bg field "GDL" into zp
  put item 4 of line i of bg field "GDL" into dp
  put number of lines of bg field "Árnyékoló+02" into
  shadedb
  repeat with shadepoly=1 to shadedb
    put number of items of line shadepoly of bg field
    "Árnyékoló+02" into polydb
    put item 1 of line shadepoly of bg field
    "Árnyékoló+02"into sor
    put item 1 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
    into Ex1
    put item 2 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
    into Ey1
    put item 3 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
    into Ez1
    put sqrt((Ex1-xp)^2+(Ey1-yp)^2+(Ez1-zp)^2) into r
    if Ez1<zp then put zp into Ez1
    put asin((Ez1-zp)/r) into bé
    put 100*tang((90-bé)/2) into r0
    put Ex1-xp into dx
    put Ey1-yp into dy
    if dx≠0 then put atang(dy/dx) into al
    if dx=0 then
      put 0 into xx
      if dy>=0 then put -1*r0 into yy
      if dy<0 then put r0 into yy

```

```

end if
if dy=0 then
  put 0 into yy
  if dx>=0 then put -1*r0 into xx
  if dx<0 then put r0 into xx
end if
if dx<0 and dy<0 then
  put r0*sinus(al) into yy
  put r0*cosin(al) into xx
end if
if dx<0 and dy>0 then
  put r0*sinus(al) into yy
  put r0*cosin(al) into xx
end if
if dx>0 and dy>0 then
  put -1*r0*sinus(al) into yy
  put -1*r0*cosin(al) into xx
end if
if dx>0 and dy<0 then
  put -1*r0*sinus(al) into yy
  put -1*r0*cosin(al) into xx
end if
GraphLib "OpenPoly"
GraphLib "MoveTo", xy+xx, xy-yy
repeat with shadepont=1 to polydb
  put item shadepont of line shadepoly of bg field
  "Árnyékoló+02"into sor
  put item 1 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
  into Ex1
  put item 2 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
  into Ey1
  put item 3 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
  into Ez1
  if shadepont=polydb then
    put item 1 of line shadepoly of bg field
    "Árnyékoló+02"into sor
  else
    put item shadepont+1 of line shadepoly of bg
    field "Árnyékoló+02"into sor
  end if
  put item 1 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
  into Ex2
  put item 2 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
  into Ey2
  put item 3 of line sor of bg field "Árnyékoló+03"
  into Ez2
  repeat with j=1 to raster
    set cursor to busy
    put j into n
    put raster-j into m
    put (Ex1*m+Ex2*n)/(m+n) into x0
    put (Ey1*m+Ey2*n)/(m+n) into y0
    put (Ez1*m+Ez2*n)/(m+n) into z0
    put sqrt((x0-xp)^2+(y0-yp)^2+(z0-zp)^2) into r
    if z0<zp then put zp into z0

```





```

put asin((z0-zp)/r) into bé
put 100*tang((90-bé)/2) into r0
put x0-xp into dx
put y0-yp into dy
if dx≠0 then put atang(dy/dx) into al
if dx=0 then
  put 0 into xx
  if dy>=0 then put -1*r0 into yy
  if dy<0 then put r0 into yy
end if
if dy=0 then
  put 0 into yy
  if dx>=0 then put -1*r0 into xx
  if dx<0 then put r0 into xx
end if
if dx<0 and dy<0 then
  put r0*sinus(al) into yy
  put r0*cosin(al) into xx
end if
if dx<0 and dy>0 then
  put r0*sinus(al) into yy
  put r0*cosin(al) into xx
end if
if dx>0 and dy>0 then
  put -1*r0*sinus(al) into yy
  put -1*r0*cosin(al) into xx
end if
if dx>0 and dy<0 then
  put -1*r0*sinus(al) into yy
  put -1*r0*cosin(al) into xx
end if
  GraphLib "LineTo", xy+xx, xy-yy
end repeat
end repeat
GraphLib "ClosePoly"
GraphLib "PaintPoly"
GraphLib "KillPoly"
Körök
  GraphLib "RGBForeColor", 0,136,0
end repeat
put CountnoPix(116,116,316,316) into db
put lidb & " / " & i into line 1 of bg field "Ki"
put db/100 into item 5 of line i of bg field "GDL"
end repeat
put 0 into difter
put number of lines of bg field "GDL" into lidb
repeat with i=1 to lidb
  put item 4 of line i of bg field "GDL" into a4
  put item 5 of line i of bg field "GDL" into a5
  add a4*a5 to difter
end repeat
put difter into line 10 of bg field "Adat00"
put "" into bkgnd field "GDL1"
put line 1 of bkgnd field "Adat00" into Latitude
put line 2 of bkgnd field "Adat00" into Longitude

put line 1 of bkgnd field "Slope" into Slope
put 1367 into Gsc
put WindArea() into AreaW
put 1 into sorszám
put -15 into Surfazi
repeat with alf = 1 to 25
  add 15 to Surfazi
  put Surfazi into bg field "Surfazimuth"
  put 180-Surfazi into Surfazimuth
  repeat with hónap = 1 to 12
    put line hónap of bkgnd field "Data01" into n
    put 0 into H0
    put 0 into H
    repeat with óra = 4 to 19
      put Bezártszög(Latitude,n,óra,Surfazimuth,Slope)
        into Bez
      put Napmagasság(Latitude,n,óra) into Napm
      put Azi(Latitude,n,óra) into Azim
      put Zenith(Latitude,n,óra) into Zen
      kiír hónap,óra,Azim,Napm
      set cursor to busy
      put item hónap of line óra-3 of bkgnd field
        "Data03" into I
      put item hónap of line óra-3 of bkgnd field
        "Data04" into Ib
      put I-Ib into Id
      if (Bez >= 90) or (Napm<0) then
        put 0 into Shade
        put 0 into Rb
      else
        put
          round((ShadeArea(Surfazi,Slope,Azim,Napm)
            /AreaW)*100) into Shade
        put cosin(Bez)/cosin(Zen) into Rb
      end if
      put Ib*Rb+Id*((180-
        Slope)/180)+I*0.15*(Slope/180) into It0
      put Ib*Rb*(Shade/100)+
        Id*(difter/100)+I*0.15*(Slope/180) into It
      add It0 to H0
      add It to H
    end repeat
  end repeat
  clall
  if H0 > 0 then put (H/H0)*100 into YY else put 0
    into YY
  put return & sorszám & " " & hónap*10 & " " &
    (alf-1)*5 & " " & YY after the last line of bg field
    "GDL1"
  add 1 to sorszám
end repeat
end repeat
delete line 1 of bg field "GDL1"
WriteToFile bkgnd field "GDL1",TRUE,"Maci-HD
:Desktop Folder:Árnyék.XYZ"
end Számítás

```



