

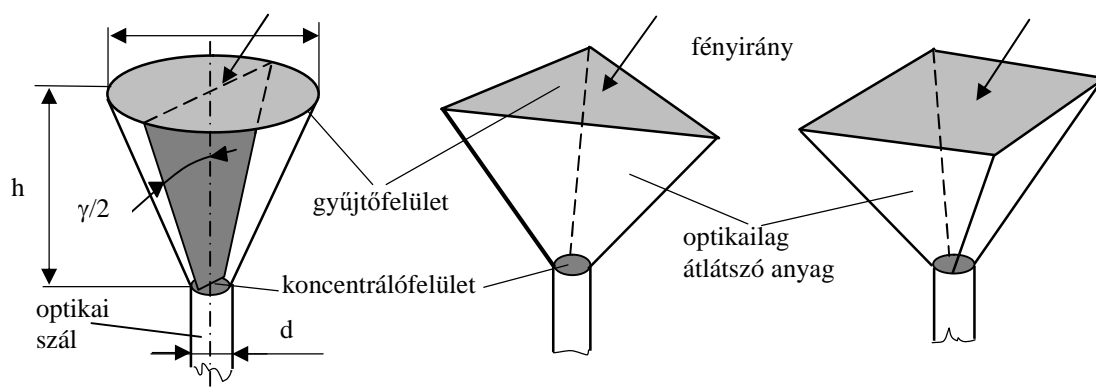
Részletes zárójelentés

1. A kutatómunka célja:

A kutatás azon a feltételezésen alapult, hogy készíthetők optikailag átlátszó anyagból olyan, prizmának nevezett testek, amelyek a nap sugárzási energiáját képesek jelentős mértékben koncentrálni.

Prizma alatt a fizika általában háromszögletű, hasáb alakú szilárd testet ért. A matematikában a prizma egyszerűen egy tetszőleges keresztmetszetű hasáb, egybevágó alap- és fedőlappal, sík oldallapokkal határolt test.

A következőkben gyűjtő prizma (röviden: prizma) alatt olyan mértani testet értünk, amelynek keresztmetszete az optikai tengelye mentén folyamatosan csökken és felülete egyaránt lehet sík vagy valamely görbült felület. Így igen változatos keresztmetszetű prizmák állíthatók elő (1. ábra). A prizmák anyaga elvileg bármely optikailag átlátszó anyag lehet, amelyet az abszolút törésmutatóval jellemezhetünk.



1. ábra.

Egyszerű alakú prizmák

Fig. 1. Simply prisms for collectors

Az így nyert prizma alaplapját használjuk praktikusán gyűjtőfelületnek, míg a szemben lévő, ennél lényegesen kisebb felületet koncentráló felületnek. A koncentráló felülethez a fény elvezetésére például optikai szálát csatlakoztatunk.

2. Eredmények

2.1. Anyagok

Elsőként közönséges Si-üvegből készítettünk a vizsgálatokhoz próbatesteket és optikai elemeket (üvegrúd és csatoló idomok). Az első próbaméréseknél kiderült, hogy a gyártási technológia alkalmatlan a kísérleti eszközök előállítására, mivel a közönséges technikával készült elemek zárványosak, az anyagban az alakítás és a hűlés során jelentős feszültségek maradtak vissza, amelyek a törésmutató nagy szóródását eredményezték. Ezért az üveg alapanyaggal való kísérletezést abbahagytuk.

Alternatív megoldásként a műanyagokat, ezen belül a vezetéskes optikában széles körűen alkalmazott PMMA (polimetil-metakrilát) választottuk. Mivel önthető alapanyaghoz nem sikerült hozzájutni, a rúd formában beszerezhető, forgácsolható alapanyagot alkalmaztuk.

Próbatestek

Az elektromágneses sugárzást koncentrálni képes prizma igen változatos alakban állítható elő (kúp, gúla, tetraéder stb.). A rendelkezésre álló alapanyag és elérhető alakítási eljárás miatt a vizsgálatokhoz kúp alakú prizmákat készítettünk kétfajta geometriával és két méretben. A PMMA rúdból a prizmatesteket esztergálással alakítottuk ki, majd a felületeket políroztuk.

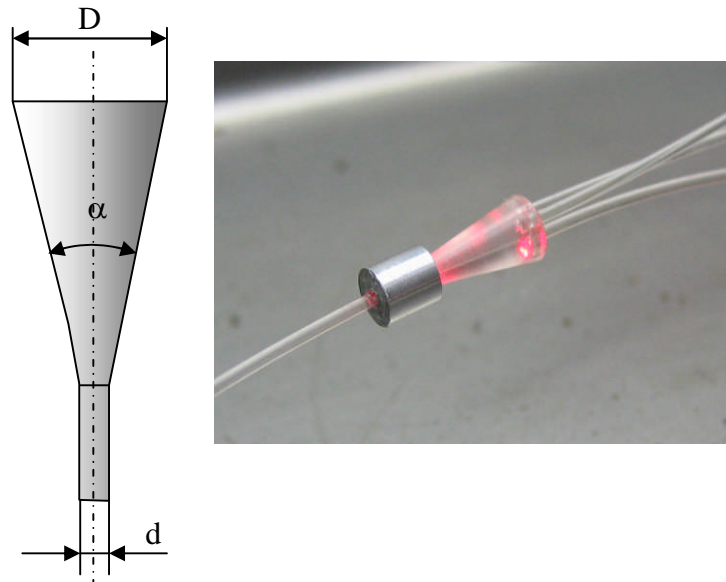
A 2. ábra szemlélteti a prizmatestek méreteit, amelyek változatait az 1. táblázatba foglaltuk össze.

1. táblázat

A prizmatestek geometriai jellemzői

Minta jele	D [mm]	d [mm]	α [°]
K1	50	5	21
K2	50	5	43
K3	5	1	21

Minden prizmatest a saját anyagából készített csatlakozó csonkkal volt ellátva.



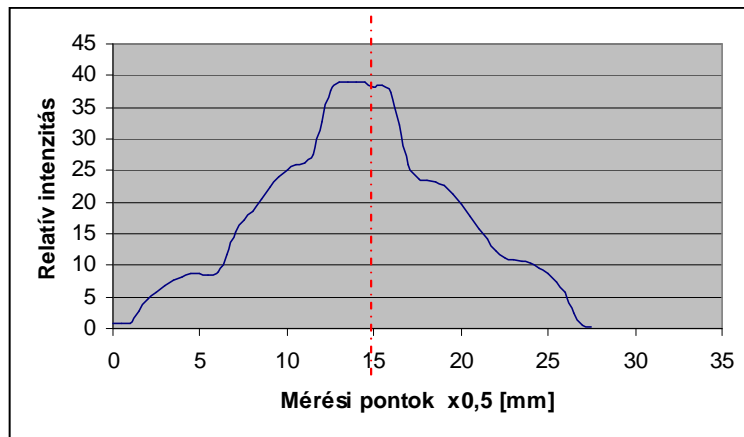
2. ábra. Prizma geometriai jellemzői és csatlakozási vizsgálat lézervénnyel
Fig. 2. Geometrical characteristics of prism and testing by laser

A fénymenet-vizsgálat eredményei

Elsőként azt az eredményt mutatjuk be, amelyet merőleges beesésnél a gyűjtőfelület átmérője mentén kaptunk (3. ábra). A diagramról jól láthatók a kimeneti fényintenzitás töréspontjai, amelyek a tükrözések számának változásaiból adódnak. A legnagyobb intenzitás természetesen akkor adódik, ha a fénymenet törésmentes. Ha a fény kilép a d koncentrálófelületnek megfelelő tartományból, már csak a prizma falán tükröződve képes bejutni a koncentráló felületre. Ezt jelzi az intenzitásgörbe hirtelen esése, majd közel állandósága. Ha tovább távolodunk a középponttól, egy bizonyos helyzetben már csak két tükrözéssel lehetséges a fényátmenet, a görbén ezt a második „váll” jelzi. És így tovább.

A relatív intenzitásgörbéből jól látszik, hogy a tükrözéses fénymenet igen jelentős veszteségek forrása. Ennek elsődleges oka az, hogy a prizma falán akkor is kilép fény, ha egyébként a tükrözési viszonyok miatt nem lenne indokolt. Mivel a prizma falának kialakítása (a polírozás ellenére sem) tökéletes, ez természetesnek tekinthető. Másrészt viszont a fénykilépés arra hívja fel a figyelmet, hogy alkalmazásoknál igen célszerű pl. a fal foncsorozása, vagy tükrösítése más módszerekkel (pl. a prizma törésmutatójának helyi növelésével a fal mentén.)

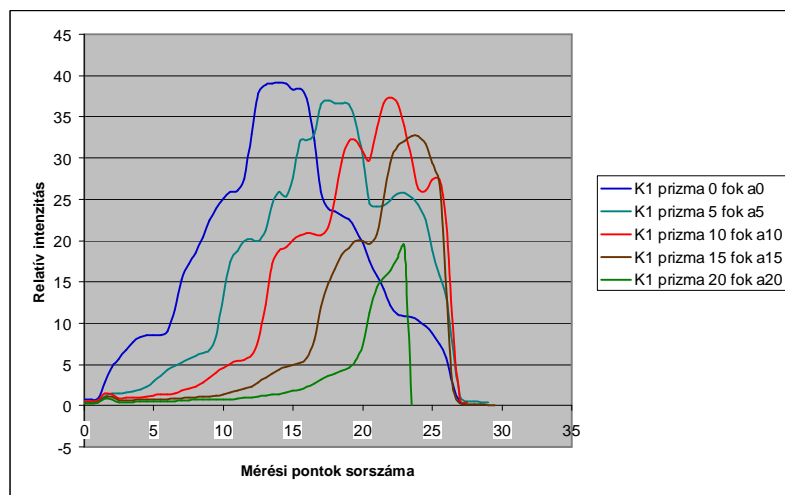
Ha a fénysugár beesési szögét megváltoztatjuk, a kimeneti relatív intenzitás görbe ugyan torzul, de a tendencia nyilvánvaló.



3. ábra. A K1 jelű prizma kimeneti fényáram relatív intenzitása a gyűjtőfelület átmérője mentén merőleges beesésnél

Fig. 3. Outlet intensity of light at K1 prism, with 90° incidence angle

A 4. ábra a K1 jelű prizma kimeneti relatív fényáramát szemlélteti különböző beesési szögeknél, ha a fénysugarat a gyűjtőfelület átmérője mentén vezetjük.



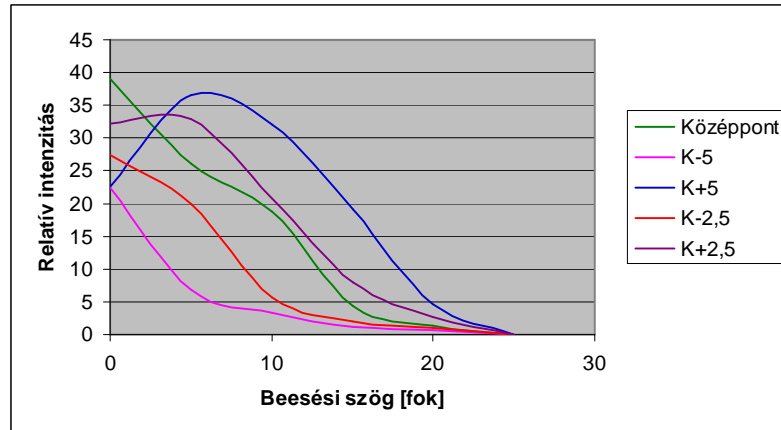
4. ábra. A K1 prizma fénymenete különböző beesési szögeknél a gyűjtőfelület átmérője mentén

Fig. 4. Light transmission at K1 prism with different incidence angle

Az eredmények alapján megállapítható, hogy kis beesési szögek esetében nincs jelentős változás a fénymenetben, illetve a relatív fényintenzitás alakulásában az optimális, azaz a

merőleges beeséshez képest. A görbék aszimmetriája érthetően nő a beesési szög növekedésével és csökken a görbe alatti terület is, amely a növekvő transzmissziós veszteségeket jelzi.

Az 5. ábrán mutatjuk be, hogy hogyan változik a gyűjtőfelület egyes meghatározott pontjaiba beeső fénysugár kimeneti intenzitása, ha a beesési szög változik.

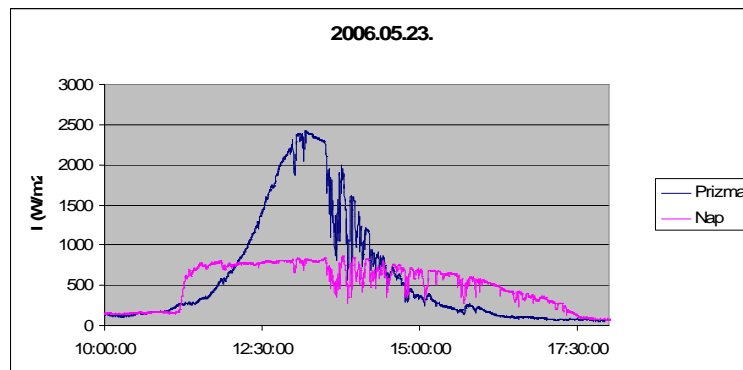


5. ábra. A fénysugár kimeneti relatív intenzitása a gyűjtőfelület különböző pontjaiban változó beesési szögek esetén

Fig. 5. Outlet intensity of light among changed incidence angle and points

2.4. Fénymenet természetes fényben

Természetes viszonyok között vizsgáltuk a prizma fénymenetét mérve a beeső és a koncentrált fényáram intenzitását, állandó beállítási szög mellett az év különböző szakjaiban. A mért két, napi intenzitásfüggvény tipikus menetet szemlélteti a 6. ábra. Ebből jól látszik, hogy az adott napon délelőtt a légkör által alig zavart napsütés volt, míg délután a változó felhőzet volt a jellemző. Az egyes napok között természetszerűleg igen nagy eltérések adódtak, attól függően, hogy az égbolt felhősödése hogyan alakult. Ezért a méréseket igyekeztünk minden időjárási körülmény mellett elvégezni, kivéve az esős napokat, amikor a mérés technikailag lehetetlen, energetikai szempontból pedig felesleges volt. Igazán szemléletesek és jól értékelhetőek azon napok eredményei, amikor egész nap zavartalan volt a napsütés (7. ábra).

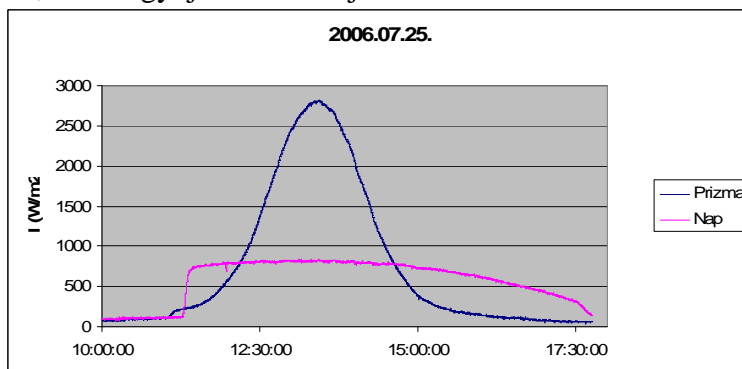


6. ábra. Egy tipikus májusi nap mért intenzitásfüggvényei

Fig. 6. Light intensity curves in a typical may day

2.4.1. A prizma fénykoncentrációja

Mindkét diagramon jól látszik a mérésektől elsősorban várt eredmény: a prizma valóban jelentősen képes koncentrálni a napsugárzást, a koncentráló felületen mért intenzitás lényegesen nagyobb, mint a gyűjtőfelület síkjában mért intenzitás.



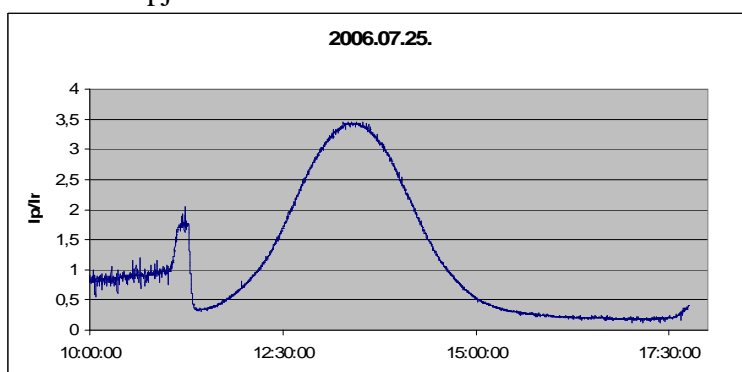
7. ábra. Intenzitásgörbék zavartalan napsütés esetén
Fig. 7. Intensity curves by very clear sky conditions

A **koncentráció maximális mértékének** kiszámításához meghatároztuk a Nap zenit pozíciójában mért (azaz általában a maximális) intenzitásértékeket (I_{pmax} , I_{Nmax}), és a két intenzitás hányadosaként értelmeztük a tényleges k_{max} koncentrációt.

(Itt jegyezzük meg, hogy a **prizma elméleti maximális koncentrációja** a gyűjtőfelületre merőleges beesési szögnél adódik, a gyűjtőfelület és a koncentráló felület hányadosaként, vagyis $k_e = (D/d)^2$ értelmezzük. A vizsgált prizma esetében $k_{emax} = (25/6)^2 \cong 17,36$.)

Természetesen az elméleti koncentráció értéke akkor közelíthető a legjobban, ha a Nap iránya a gyűjtőfelület normálisa is egyben, ami évente két alkalommal, a tavaszi és az őszi napéjegyenlőség idején adódik. A tényleges koncentráció, döntően a beesési szög függvénye, amely a nap során és az évszaktól függően is állandóan változik.

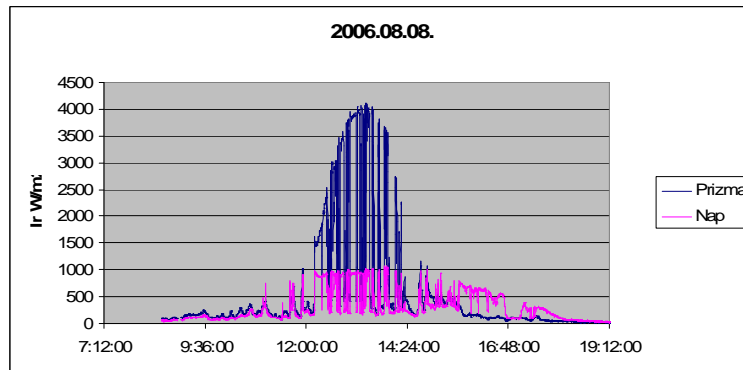
A napi tényleges energiáttranszmisszióra a koncentráció időfüggvénye jellemző. A pillanatnyi koncentráció időfüggvényét könnyen megadhatjuk, ha képezzük az összetartozó intenzitásértékek hányadosát. A 8. ábrán a koncentráció napi menetét szemléltetjük a 7. ábra szerinti július 25-i adatok alapján.



8. ábra. A fénykoncentráció napi menete
Fig. 8. The light concentration during a day

A besugárzást természetesen a légköri viszonyok igen erőteljesen befolyásolják. Így a felhőzet alakulása, a levegő (relatív) páratartalma a fény intenzitását igen nagy mértékben

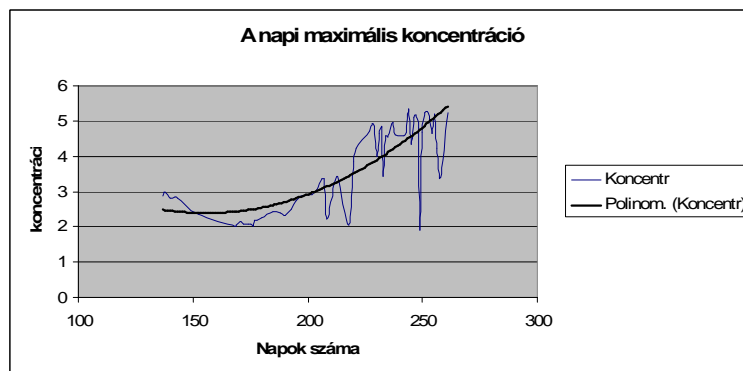
csökkentheti. Borús, esős napokon gyakorlatilag a szórt, gyenge sugárzás a jellemző, azonban fénykoncentráció ez esetben is elérhető. Változóan felhős időben érdekes jelenség a felhőzet tükröző hatása: a felszínről visszavert fényt a prizma szempontjából kedvező pozícióban lévő felhő éppen a gyűjtőfelületre tükrözi, így a koncentráció értéke váratlanul magas. E jelenségnek azonban számottevő energetikai jelentősége nincs. A 9. ábra szemlélteti egy változóan felhős nap energetikai viszonyait, ahol a jelenség megfigyelhető.



9. ábra. Változóan felhős nap energetikai viszonyai
Fig. 9. Energetical relations at a cloudy weather

2.2. A koncentráció időfüggvénye

A Nap járásának megfelelően a beesési szög az év folyamán is állandóan változik, amely természetszerűleg jelentősen befolyásolja az energiaáram koncentrációjának mértékét. Fontos információ, hogy állandó gyűjtőfelület beállítás mellett a fényenergia koncentráció az év folyamán hogyan alakul. Ennek jellemzésére a napi koncentráció maximumokat használhatjuk fel, azaz vizsgáljuk a zeniten álló Nap esetében mért koncentráció értékeket. Jelenleg nem teljes az éves adatsor, mivel a méréseket csak 2006. május 20-án kezdtük, de a tendencia a nyári időszakra megrajzolható (10. ábra).



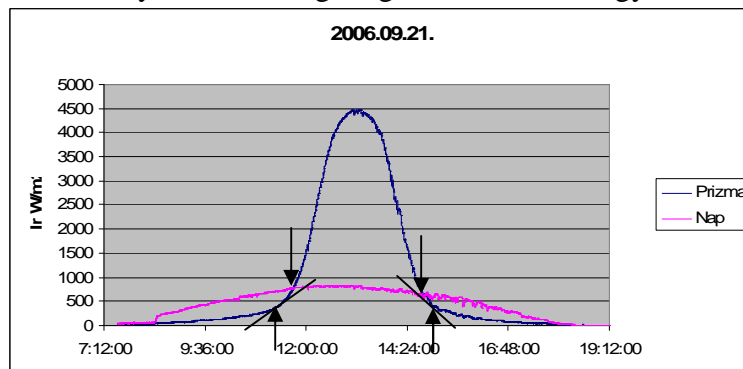
10. ábra. A napi fényáram koncentráció maximumai a vizsgált napokon
Fig. 10. The maximum of light concentration in summer, 2006.

Mint látható, a vizsgált prizmával mért tényleges koncentráció maximuma messze elmarad az elméleti értéktől, de azért jelentősnek mondható: az 1000 W/m^2 fajlagos teljesítmény a gyűjtőfelületen maximum ötszörösére növelhető. Az elméleti értéktől való eltérés több tényezővel magyarázható. A viszonylag nagy méretek miatt hosszú a prizmában és a csatolt vezető rúdban a fényút, ezért az anyagban bekövetkező diszperzió nagy transzmissziós veszteséget okoz. A prizma és a rúd megmunkálása a fény hullámhosszához képest durva, ezért a fény egy jelentős része kilép az anyagból. Végül megemlítjük, hogy maga a

fényvezető anyag sem a legmegfelelőbb, az extrudált rúdból készült prizma anyaga nem volt kellően homogén, ami lézerefényes vizsgálatoknál egyértelműen kiderült.

2.3. A prizma látószöge

Bármely kollektornál alapvető fontosságú a gyűjtőfelületre eső fénysugár minél nagyobb hányadának hasznosítása, az elnyelő felületre irányítása. A prizma látószöge értelemszerűen korlátozott, kisebb mint a sík gyűjtőfelületek látószöge. A mérési eredményekből a látószög pontosan meghatározható, amennyiben definiáljuk a látószög fogalmát. A problémát a 11. ábra szemlélteti. A gyűjtősíkban mérő szenzor látószöge gyakorlatilag megfeleltethető egy normál sík kollektor látószögének. Az intenzitás függvény szögfüggvénnyel (szinusz görbével) közelíthető. Ehhez képest a prizma koncentrátor felületén mért intenzitás görbe egy normáloszlást mutat, amelyből a látószög meghatározása nem egyértelmű.



11. ábra. A látószög értelmezése

Fig. 11. Definition of the operational angle

Jól látszik, hogy az intenzitás lassú felfutású, majd hirtelen emelkedni kezd. Egyik lehetőség a látószöget a görbe inflexiós pontjaihoz kötve meghatározni, mivel a délutáni lefutás is hasonló tendenciájú. Azt mondhatjuk, hogy az első direkt fénysugarak ekkor érik el a koncentrátor felületet, ezt megelőzően csak az egyre erősödő szórt sugárzás gyűjthető be. Másik lehetőség az mondani, hogy a látószög a két intenzitás görbe metszéspontjai által meghatározott időintervallum. Mivel a Nap óraszöge 15° , ennek alapján a látószögre valódi szögérték adódik.

Az eddigi eredmények alapján azt állapíthatjuk meg, hogy a látószög az év folyamán csak kis mértékben változik. Az inflexiós pontok által meghatározott látószög a vizsgált időszakban $60-67,5^\circ$ között változott, miközben a természetes látószög $175-163^\circ$ között adódott. Ha képezzük a látószög arányt, azt kapjuk, hogy a prizma csak a napfénytartamos órák 34-41%-ában képes energiát gyűjteni, igaz, hogy energetikailag a legkedvezőbb időszakban, a déli órákban.

3. A kutatómunka során megállapított fontosabb következtetések:

- A kúpprizmák fénymenete a geometrikai optika törvényszerűségeivel leírható
- A fénymenetre felírt egyenletek helytállóak, alkalmazhatók
- A gyűjtőkúp megfelelő koncentrátor lehet egyszerű alkalmazásokhoz
- A prizmában koncentrált fény rendezetlensége a fény haladási irányában nő
- A prizma mint fényemittáló forrás kimenetén koncentrált, de szórt fény lép ki
- Prizmák optikai szálak segítségével párhuzamosan tetszőlegesen kapcsolhatók
- Prizmák soros kapcsolása energetikailag nem előnyös, mivel a prizmából kilépő fény erősen rendezetlen.

- Az adott geometriájú prizma állandó beállítási szög mellett is alkalmas a napsugárzás energiaáramát számottevő mértékben koncentrálni.
- A koncentráció mértéke egy napon belül közelítőleg a normáloszlás függvény alakját követve változik.
- A prizma látószöge értelemszerűen a természetes látószögnél kisebb, így a kora reggeli és a késő délutáni sugárzást a gyűjtőelem nem tudja hasznosítani.
- A nyári időszakra a 47° beállítási szögű, déli irányítású prizma látószöge $60-67,5^\circ$ -nak adódott, így a napfénytartamos órák 34-41%-ában képes energiagyűjtésre.
- A prizma energiagyűjtő/fénykoncentráló képessége jelentős mértékben függ a fényút hosszától és a prizma anyagától, az energiateranszmisszió hatásfoka egyrészt a prizma méretének csökkentésével (rövidebb fényút), másrészt a prizma felületének finomabb megmunkálásával jelentősen javítható.