



Tudományos Diákköri Konferencia

Árnyékolás és vizuális komfort

Tartalomjegyzék

Célkitűzés:	3
Téma indoklása:	3
Napsugárzással kapcsolatos alapfogalmak:	4
Hőterhelés mérséklésének természetes eszközei:	7
Az árnyékolás alapfogalmai:	7
Árnyékolók csoportosítása:	9
Vizsgálatok:	13
1. eset (x^3 függvény):	15
2. eset (log függvény):	15
3. eset (ellipszis ív):	15
4. eset ($\sin(x)$ függvény):	16
5. eset ($\sin(x)$ függvény):	16
6. eset ($\sin(x)$ függvény):	17
7. eset ($\sin(x)$ függvény):	17
További fejlesztési lehetőségek	22
Összefoglaló:	23
Köszönetnyilvánítás:	24
Hivatkozások:	24
Mellékletek:	24

Célkitűzés:

Az épületek tervezésében általános tendencia, hogy a homlokzatokon az üvegezett arány egyre nő. Ez a nyári üzemeltetésben az épületek hűtését jelenti. Nemzetközi Energiaügynökség prognózisa szerint 2020-ban az irodaépületeknél 70%-os klímatiszálási arányt jelent, az új építésű középületeknél teljes körűnek tekinthető [Dreher, 2009].

A napvédelem követelményeinek megfelelő üvegek energiaátbocsátó képessége alacsony kell legyen, ez azonban a vizuális komfort feltételeivel legtöbbször ellentétes, és a megfelelő természetes megvilágítást sem biztosítja a beltérben. Jó energiaátbocsátó képességű üvegezett szerkezeteknél nyáron a túlmelegedést fokozza a működő gépek és a beltérben lévő személyek hőleadása. Így megfelelő árnyékoló szerkezet alkalmazása primer energiamegtakarítást jelent.

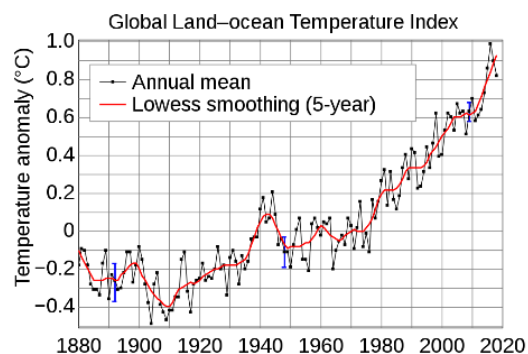
Téma indoklása:

Klímaváltozás, globális felmelegedés:¹

Globális felmelegedés alatt a Föld átlaghőmérsékletének emelkedését értjük. Az éghajlatváltozási keretegyezmény (ENSZ Keretegyezmény 1992. Rio de Janeiro és a 1995. évi LXXXII. törvény) az emberi tevékenységet nevezi meg, mint okot. A múlt évszázadban és az ezredforduló óta eltelt időszakban mért hőmérsékleti adatok azt mutatják, hogy rohamosan növekszik a légköri átlag hőmérséklet. Az éghajlat stabil állapotához annyi energiának kell a Föld légköréből kijutnia (főleg napsugárzásnak), mint amennyi bekerül.

Üvegházhatás:²

Ezt az elnevezést használjuk a természetes, illetve mesterséges folyamatokra egyaránt. Jólal az emberiség megjelenése előtt is volt üvegházhatás, mely a légköri vízgőz, szén-dioxid, metán és ózon alkotóelemeknek köszönhető. A természetes üvegházhatás nélkül az átlaghőmérséklet - 19°C lenne, ez az élet kialakulását megakadályozta volna.



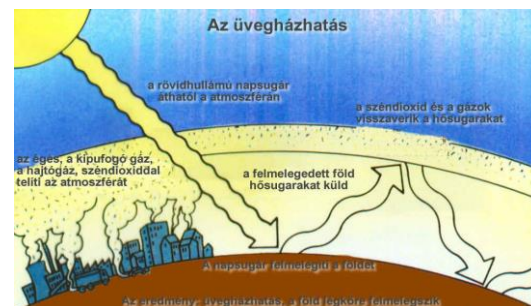
A felszínközeli levegő átlagos hőmérséklete 1880 és 2012 között. A fekete görbe az éves, a vörös görbe pedig az ötéves átlaghőmérséklet alakulását mutatja.

Forrás: Wikipédia

¹ Forrás: wikipédia

² Forrás: <http://www.kothalo.hu/kiadvanyok/klima.pdf>

Azonban az emberi tevékenységek következményeképpen üvegházhatású gázok keletkeznek (legnagyobb mennyiségben szén-dioxid), mely felerősíti azt. A felelősen gondolkodók már az 1992-es klímaegyezményben kifejezték aggodalmukat: „az emberi tevékenység az üvegházhatású gázok koncentrációjának jelentős emelkedéséhez vezetett az atmoszférában, hogy ez az emelkedés felerősíti a természetes üvegházhatást, ami általában a földfelszín és az atmoszféra járulékos felmelegedéséhez fog vezetni, és hátrányos kihatásai lehetnek a természetes ökoszisztémára és az emberekre.”³



Az üvegházhatást szemléltető ábra

Forrás: <http://www.kzs.hu/nap/hungarian/b13.jpg>
2019.09.

Az üvegházhatás felerősödésének következményeképp kevesebb sugárzás képes távozni a világűrbe, és csak a földfelszín felé engedi át az eső napsugarakat. Az infrásugárzás (hőenergia) bent reked az alsó légköri rétegben és az üvegházgázok koncentrációjának növekedésével egyre jobban felmelegíti a földfelszínt.

Épületek esetén a transzparens szerkezetek a sugárzás egy részét átengedik, más részét elnyelik, harmadik részét visszaverik. Az elnyelt hőtől a szerkezet felmelegszik, az általa kibocsátott hosszuhullámú sugárzás intenzitása megnő, ezáltal hőt ad le a vele érintkező levegőnek.

A téma komplexitása évek óta rendkívüli innovációs erőt jelent, ez az erő különösen azt a területet érinti, amelyik a redőny, zsaluzia beépítésével kapcsolatos; hővédelem, napvédelem, napfényhasználat, káprázásvédelem, természetes szellőzés. Az épület térelhatárolása képessé tehető arra, hogy az évszakos és konkrét igényeknek megfelelően változó módon reagáljon.

Napsugárzással kapcsolatos alapfogalmak:

A napsugárzás energiahozama:

A napsugárzás energiahozamát a sugárzás intenzitásával (W/m^2) fejezzük ki. A földi atmoszférán kívül az intenzitás éves periodicitással $1300-1400 W/m^2$ között ingadozik. Hogy ebből mennyi érkezik a földfelszínre, azt sok tényező befolyásolja, pl. vízgőz, köd, felhőzet,

³ Idézet forrása: <http://www.kothalo.hu/kiadvanyok/klima.pdf>

légszennyezettség stb. A napsugárzás energiahozamának jellemzésére a következő adatokat használja a szakirodalom [Mészáros, 2013]:

- Globálsugárzás: a vízszintes síkra a felső féltérből érkező összes rövidhullámú sugárzás (W/m^2)
- Diffúz sugárzás: a vízszintes síkra a felső féltérből érkező összes rövidhullámú sugárzás, kivéve a Nap korongjának térszögét. Szokásos elnevezése még a szórt sugárzás is. (W/m^2)
- Direkt sugárzás: a Nap korongjának térszögéből a Nap irányára merőlegesen álló felületre belépő rövidhullámú sugárzás, vagy más néven közvetlen sugárzás. (W/m^2)
- Besugárzás: valamilyen időtartam alatt a felületegység által kapott összes sugárzási energia (kWh/m^2). A besugárzás időtartama (pl.: óra, nap, év). Ez nem más, mint a felületre belépő sugárzási áramsűrűség idő szerinti integrálja.

Transzmissziós hőáram:

A tömör (opak) szerkezetek -amikor is, vagyis az épület és a környezet közötti sugárzás gátolva van - külső oldala a külső levegővel, fűtetlen terek levegőjével vagy a talajjal érintkezik. Az energiáttranszport jellemző módja a transzmissziós hőáram. A határolás egészére az alábbi képlet alkalmazható (MSZE 24140:2015 Épületek és térelhatároló szerkezetek hőtechnikai számításai)

$$Q = \left(\sum AU + \sum \psi I \right) (t_i - t_e)$$

A-felület [m^2]

U - hőátbocsátási tényező [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

ψ - hőhid veszteségtényező [W/mK]

t_i - belső oldali hőmérséklet

t_e - külső oldali hőmérséklet

Naplég-hőmérséklet:

A napsugárzás hatása a gyakorlatban a naplég-hőmérsékletnek nevezett fiktív számmal vehető figyelembe, mely az előbb alkalmazott Q transzmissziós hőáram képletében a t_e külső léghőmérsékletet helyettesíti. Az eredmény tükrözi mindemellett a napsugárzás hatását is. Nem szabad elmenni amellett sem, hogy a külső felület a sugárzás mekkora hányadát reflektálja, illetve az elnyelt sugárzási energia következtében mekkora lesz a hőmérséklete és a hosszuhullámú infravörös tartományban kibocsátott saját sugárzása.

Mikroklíma az épületben, hőérzet:

Az épületenergetikai követelmények célja az energiafogyasztás és az ezzel járó környezetszennyezés minimálisra csökkentése. Az épületben lévő mikroklímának biztosítania kell a bent tartózkodók számára a megfelelő hőérzetet, mely nagyban függ a helyiségben végzett munkától, tevékenységtől.

A hőérzet megítéléséhez több szempontot is vizsgálni kell pl. az emberi szervezet hőháztartása, az ember és a környezet közti hőcsere stb.. „A kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejezi ki”⁴. A megfelelő hőérzet elérését biztosíthatjuk természetes, illetve mesterséges eszközökkel.

Energiaátbocsátóképesség (g-érték):

Az energiaátbocsátóképesség a DIN 67507 szabvány (Lichttransmissionsgrade, Strahlungstransmissionsgrade und Gesamtenergiedurchlaßgrade von Verglasungen) szerint %-osan adja meg azt az energiamennyiséget, amely a direkt napsugárzásából és a másodlagos hőleadásból kívülről bejut az üvegezett szerkezeten, és a belső tér felmelegedéséhez hozzájárul. Minél nagyobb a g-érték, annál nagyobb az üvegezésen sugárzási hőként leadott energiamennyiség [Schittlich, 2006]. A DIN 4108 szabvány 2. része az árnyékolások hatékonyságának jellemzésére alkalmazza az F_c tényezőt, amely az árnyékolón és az üvegen bejutott energia és az árnyékolatlan szerkezet energiaátbocsátásának arányát fejezi ki, 0 és 1 közötti viszonyszám. [baunetzwissen.de/glossar/Fc].

Az energiaátbocsátást nagyban befolyásolja a napállás (beesési szög) a beeső sugárzás hullámhosszától, az időjárási körülmények. A g-értéket befolyásolja a:

- direkt sugárzás,
- konvekcióból származó másodlagos hőleadás a beltér felé,
- hősugárzásból származó másodlagos hőleadás a beltér felé [Dreher, 2009].

Szelektivitás:

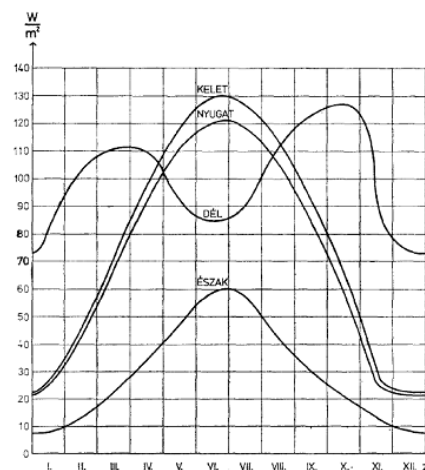
A láthatófény és a teljes spektrumra vonatkozó energiaátbocsátás aránya. Az árnyékolás szempontjából a magas szelektivitás a kedvező. Változó és változtatható tulajdonságú üvegek szelektivitása kicsi, hasonlóképp zárt állapotban a legtöbb mozgatható árnyékoló szelektivitása

⁴ Az ASHRAE (American Society of Heating, Hűtő- és Légkondicionáló Mérnökök) általánosan elfogadott definíciója

alacsony. A g -érték csökkenése a láthatófény áteresztés csökkenésével jár. A cél alacsony g -érték mellett a látható fénytartományában a lehető legjobb átbecsátást biztosítani.

Hőterhelés mérséklésének természetes eszközei:

A legfontosabb feladat a direkt sugárzás épületbe való bejutásának a megakadályozása. Ha energiagyűjtő felületként az épülethatároló homlokzatainak transzparens hányadát tekintjük, akkor a déli tájolás a legkedvezőbb. Késő tavasszal és kora ősszel a legmagasabb a napsugárzás energiahozama ebből az irányból, míg nyáron kevesebb, mint a nyugati, illetve keleti tájolás esetén. Télen viszont az energiahozam többszörös a többi égtáj szerinti tájoláshoz képest. A déli tájolású homlokzatokat a közvetlen sugárnyaláb nagyobb szöget zár be a homlokzat normálisával, így az árnyékolás könnyebben megoldható. Összefoglalva a déli tájolású homlokzatok esetén a téli hőnyereség maximalizálható, de a nyári hőterhelés nagy, és ezt minimalizálni kell. Ennek legegyszerűbb eszköze a növényzet telepítése, amellyel jelentősen csökkenthető a homlokzat hőterhelése. Lombhullató növények telepítése célravezetőbb, hiszen a nyári napsütés ellen véd a lombkorona, míg a téli időszakban nem akadályozza meg a napsugarak bejutását az épületbe.



A napsugárzás energiahozama a négy égtáj szerint
Forrás:

https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412_A/2010-0019_Epuletenergetika/ch02.html
(2019.09.)

Az árnyékolás alapfogalmai:

Szoláris idő:

Mivel a Föld nem halad egyenletes sebességgel a pályáján, ezért a Nap nem mindig pontosan 24 óránként delel, hiszen a nap látszólagos járása nem egyenletes szögsebességű. A valódi szoláris idő tehát nem egyenletesen múlik. Valódi időnek, vagy szoláris időnek a Nap két egymást követő delelése között eltelt időt nevezzük [Zöld et al. 2016].

Nappálya:

A látszólagos nappálya az a pálya, amelyet a nap az égbolton megtesz, magassági szöge és déli iránytól való eltérésének szöge (Azimut) a földrajzi helyzettől, illetve az vizsgált időponttól függ.

Benapozás:

A benapozás a földrajzi helyzettől, leginkább a földrajzi szélességtől függ. Minden órában változik a beérkező fény iránya és intenzitása. Hazánk súlypontja az északi szélesség 47° , Greenwich-től a keleti hosszúság 19° -án helyezkedik el. Ez a pont nagyjából Dunaújváros és Tass között található.

Építészetileg figyelembe veendő napsütés:

Az épületeket érő fény és hőhatások akkor számottevők, ha a nap beesési szöge 10° fölött van, ugyanis 0 - 10° között vagy a környezet takarja, vagy nyílt terepen a sugaraknak vastag por és pára rétegen kell áthatolnia [Ottó, 1978].

Üvegezés naptényezője:

Egy tetszőleges üvegezésen, valamint egy 3mm vastag egyrétegű üvegezésen keresztül a napsugárzás hatására a helyiségbe jutó energiamennyiségek viszonyát fejezi ki, egy állandó érték. Ez a viszonyszám a vizsgált ablakszerkezet naptényezője (N) [Zöld et al. 2016].

Természetes megvilágítás:

Télen a világos órák száma mindössze 8 óra körül mozog, míg nyáron ez az érték akár a 14 órát is elérheti [Ottó, 1978]

Nagy feladat elé állítja a tervezőket, hiszen olyan árnyékolót kell elhelyezni, amely hatékonyan működik mindamellet, hogy a minimális természetes megvilágítást is biztosítja. A különböző helyiségeknek különböző a minimális megvilágítási igénye. Nagyban függ továbbá a helyiségben végzett munkától, vagy tevékenységtől is.⁵

⁵ PL: Nappali: 200 lux ; Konyha: 200 lux ; Hálószoza: 70 lux ; Fürdőszoba: 100 lux ; iskolai tevékenység, műhelyi munka: 500 lux [Ottó, 1978]

Az árnyékoló megválasztásának általános hőtechnikai szempontjai:

Az utóbbi időben a szokásos megoldás két- vagy háromrétegű üvegezett szerkezetekhez közepes minőségű árnyékolót társítanak és a szükséges belső légállapotot állandó gépi szellőztetéssel vagy hűtéssel tartják fenn.

Megoldandó probléma az árnyékolási és a természetes megvilágítási követelmények legtöbbször egymással ellentétes igényeinek optimális megoldása, azaz úgy kell a hatékony árnyékolást biztosítani, hogy a természetes megvilágítás optimális legyen.

Külső árnyékoló szerkezet megválasztásának hőtechnikai szempontjai:

Legjobb hatásfokú, 20%-nál kisebb naptényező⁶ [Ottó, 1978] A sötét színű árnyékoló szerkezet könnyebben felmelegszik, mint a világosabb színű, ezért a mögötte elhelyezett szerkezetre hosszuhullámú infrasugárzást bocsát ki.

Belső árnyékoló szerkezetek megválasztásának hőtechnikai szempontjai:

Két- vagy háromrétegű üvegezés között elhelyezett árnyékoló:

Kedvezőbb a belső térben lévónél, de kevésbé hatásos, mint az üvegezés előtt elhelyezett.

A naptényező átlagos értéke 20-30%, mely nem védi meg a belső teret a nyári felmelegedéstől, ha nagyobb az üvegezett felület.

Kedvezőbbek a világos színek, mivel a naptényező kisebb.

Belső térben elhelyezett árnyékoló:

Naptényező értéke általában 50-60 % körül mozog. Inkább a tűző napfénytől véd, mint a felmelegedéstől. Ugyanis az üvegfelületen bejutó sugárzást az árnyékoló nem tudja teljes mértékben visszaverni és az bent marad a belső térben, növelve ezzel a szoláris terhelés mértékét.

Árnyékolók csoportosítása:

Működtetés szerint lehetnek:

- Fix: Se egészében, sem alkotóelemeiben nem mozgatható
Általában külső árnyékolóként alkalmazzuk, legkisebb karbantartási költséggel rendelkezik.
- Félmobil: Egészében nem, csak szerkezeti elemeiben mozgatható.
- Mobil: Nemcsak egészében, hanem szerkezeti elemeiben is mozgatható

⁶PL: Külső lamellás árnyékoló naptényezője 0,10-0,20 , anyagtól és vastagságtól függően.

Forrás: Tervezésfejlesztési és Típustervezői Intézet által kiadott Homlokzati árnyékoló, elsötétítő és fényvédő szerkezetek című könyve , I.táblázat

Anyaguk szerint lehetnek:

- Fa: Alkalmazható külső és belső szerkezetként is, azonban a külső elhelyezés esetén gondoskodni kell a védelméről az időjárás viszontagságai ellen.
- Fém: Mindhárom működtetésben készítik külső és belső szerkezetként egyaránt. A fém árnyékolók lamellás-lemezes szerkezetek. Könnyen felmelegednek, viszont lehűlni is gyorsabban tudnak. Külső környezetben ügyelni kell a korrózióvédelemre és a felületi szennyeződésekre, mert ezek ronthatják a hatékonyságát.
- Műanyag: Mindegyik fajta elkészíthető belőle, azonban általában a műanyag redőnyök az elterjedtebbek. Állandó tisztán tartásukról gondoskodni kell.
- Textil: Belső szerkezetként alkalmazzák, függönyszerű árnyékolóként vagy üvegek közötti térben rolóként.

Helyzetük szerint lehetnek:

- Vízszintes kinyúlású szerkezetek (külső árnyékolók, tömör vagy áttört elemekkel)⁷
- Függőleges elhelyezkedésű szerkezetek

Az árnyékoló szerkezetek kialakítás szerint lehetnek:

- Táblás-lemezes árnyékolók: Fix vagy mobil rendszerben egyaránt készülhetnek. Lehet külső vagy belső szerkezet, mely vízszintes, ferde vagy függőleges kivitelben is készülhet. Anyagát tekintve az átlátszatlan a kedvezőbb, azonban a természetes megvilágításban akadályozó tényező.
- Léces-lamellás árnyékolók: Fix, félmobil és mobil kivitelben is készül, mind külső, mind belső szerkezetként. Az egyes lamellák hossz tengelyétől függően lehet függőleges, ferde vagy vízszintes. A mozgatható elemek építése és karbantartása költségesebb ugyan, de hazánk éghajlata miatt érdemes alkalmazni, így ugyanis biztosítható a megfelelő benapozás és természetes megvilágítás is.
- Rácsok: Általában fix kivitelben készülő, függőleges helyzetű külső árnyékolók. Az árnyékolás mértéke a faltól való távolság és a rács méreteivel változtatható.
- Függönyszerű árnyékolók: Leggyakrabban a nyílászáróra vagy a helyiség falára szerelt, külső vagy belső szerkezetek. Általában függőleges helyzetű, mobil kivitelben

⁷ Tömör szerkezetként fogható fel az ablak fölött kinyúló párkány is. Régebbi épületeknél megfigyelhető a tornácós kialakítás, mely a direkt sugárzástól védte az épületet.

készülnek. A belső, vízszintesen elhúzható függönyök csupán fényárnyékolásra szolgálnak.

Árnyékolókra vonatkozó követelmények:

A napvédelem, természetes megvilágítás - télen és borús időben is kellő megvilágítás biztosítása, a téli szoláris nyereség realizálása, a káprázás-védelem, megfelelő természetes szellőzés biztosítása, szélterhelésre ellenállóképesség, összhang a térhatároló szerkezetekkel és a külvilággal való kapcsolat szempontjából a leggyakrabban alkalmazott megoldások a következők jellemzők:

Vízszintes kinyúlású szerkezetek:

Az árnyékolót a homlokzati sík elé kinyúló konzolok képezik. A kinyúlás nagysága függ a tájolástól, földrajzi szélességtől, valamint az árnyékolás kívánt fokától. Tömör kivitelezés mellett gondoskodni kell a vízelvezetéséről. Csak déli tájolás esetén alkalmazzák árnyékolásra, nem kellő hatékonysággal.

Előnyei: Természetes szellőzést nem befolyásolja, kitekintést nem zavarja. Fűtési időszakban az alacsonyabb napállás miatt a napsugárzás helyiségbe jutását nem akadályozza. Ez az árnyékoló lamellák elfordításával - motoros működés esetén - kedvezőbbé válik. A kitekintést teljes mértékben biztosítja.

Hátrányai: A káprázás elleni védelmet nem biztosítják, ezért a beltéri árnyékolót kell felszerelni. A külső síkon elhelyezett mozgatható zsaluzia igen hatékony árnyékoló lehet, amely az időjárás változásaihoz jól igazítható.

A lamellák helyzetének változtatásával a napállás bizonyos mértékben követhető. A lamellás árnyékolók F_c árnyékolási tényezője akár 0,1 értékre is csökkenhet, illetve átlagos hőszigetelő üveggel ($g=0,65$) együtt $<0,1$ érték lehet [Varga, 2013]. A természetes megvilágítás szempontjából a lamellák elfogatásával a fényterelés jól megvalósítható, a téli szoláris nyereség hasznosulása szempontjából is kedvező. A káprázásmentesség biztosítása érdekében legtöbbször belső fényvédelem szükséges.

Függőleges fix helyzetű árnyékolók:

A függőleges fix árnyékolókat legtöbbször nagyméretű lamellákból készítik, és csak keleti és nyugati homlokzatokon alkalmazzák. Fűtési időszakban a napsugárzás bejutását akadályozzák. Az elfordítható lamellák árnyékolása kedvezőbb, a kitekintés is jobb, mint a fix beépítésű lamelláknál.

A motoros működtetésű lamellákkal $F_c < 0,3$ árnyékolási faktor érhető el. Átlagos hőszigetelő üveggel ($g=0,65$) együtt a helyiségbe érkező napenergia $< 0,2$ értékre csökkenthető [Varga, 2013]. Hasonlóképpen, mint a vízszintes fix elemeknél, itt is kiegészítő beltéri árnyékoló szükséges a káprázás megakadályozására.

Redőnyök:

A redőnyök jól árnyékolnak, $F_c < 0,1$ lehet [Varga, 2013]. Felhúzott állapotban a téli szoláris nyereség jól realizálható. A természetes megvilágítást és a kitekintést a redőnyhasználat gátolja. A káprázásvédelem szempontjából sem kielégítőek.

Rolók:

A rolók hatékony árnyékolók, napsugárzás több mint 80%-át kizárják. A rolók anyagától függően a fénytárcsátás 2-15%, ez a káprázásvédelem szempontjából jó, viszont a természetes fény helyiségbe jutása erősen korlátozott [Varga, 2013].

Belső árnyékolók:

Kialakításuk szerint lehetnek zsaluziák, rolók, függönyök. A keskeny elemekből kialakított árnyékolók a kapcsolt ablakok, illetve kapcsolt gerébtokos ablakok köztes terébe is elhelyezhetők. A belső árnyékolókat nem kell az időjárási igénybevételekre tervezni, és élettartamuk is hosszú. A világos textilárnyékolók káprázás ellen igen jó védelmet és természetes megvilágítást biztosítanak, $F_c < 0,3$ árnyékolási faktor is elérhető, más esetben ez 0,5 érték fölötti [Varga, 2013]. A nyári túlmelegedést nem képesek megakadályozni. Alapvetően más külső árnyékoló rendszerrel együtt célszerű kombinálni.

Napvédő üvegezés:

A napvédő üveg a napszemüveghez hasonlóan állandó napvédelmet biztosít. Az üvegre felvitt réteg viszonylag jól átengedi a napsugárzás látható tartományát, a rövidhullámú infravörös tartomány bejutását akadályozza. Evvel az összenergiaátbocsátás mintegy felére csökkenthető. A téli időszakban a szoláris nyereség épp ezért nem jelentős. A káprázásmentesség biztosításához kiegészítő árnyékolást kell alkalmazni. A kültérbe való kitekintés biztosított.

Az árnyékolók homlokzati szerkezetbe integrálása

A kéthéjú homlokzatoknál a héjak közötti térben védett pozícióban, jól kialakítható a napvédelem. Itt kell megemlíteni az ablakok kapcsolt ablakká történő átalakítását vagy új ablak beépítését rekonstrukció során. Ezen eseteknél jól alkalmazhatók a fénytérelő árnyékolók, a zsaluziák, textilrolók. Reflektáló felülettel megelőzhető, hogy az üvegek közti tér túlmelegedjen.

Korszerű napvédelmi rendszerek

Az újszerű kialakításokban felismerhető a természetes megvilágítás biztosításának célkitűzése. Léteznek tükröző felülettel kialakított fényterelő lamellák, fényterelő prizmák. Alkalmazznak szelektív fóliákat, amelyek az infravörös sugárzás széles tartományban nem engedik át. Jó kitekintést és káprázásmentességet is biztosítanak.

Egyre szélesebb körben építenek be olyan nyílászárókat, ahol az üvegrétegek közötti 12-16mm-es légréfbe integrálnak árnyékoló elemeket.

Az energiahatékonyság és a napvédelem összekapcsolását jelentik azok a fejlesztések, ahol is a felületre érkező napsugárzást napelem hasznosítja. Ugyanakkor borult időben a természetes megvilágítás nem mindig kielégítő.

A fejlesztési tendenciák az energiahatékonyság irányába mutatnak, emellett a napsugárzás változásának dinamikus követése és a természetes fény autonómia is cél. Ezt az irányzatot képviselik az alacsony hőátbocsátással, kedvező energia- és fényátbocsátással rendelkező az intelligens üvegek. A smart üvegek az épület és környezete közötti energiatranszportot optimalizálják automatikusan vagy automatizálhatóan, azaz igazodnak az évszakos és napi időjárási változások sugárzási viszonyaihoz. A sugárzási viszonyok hatására megváltozik az üveg optikai tulajdonsága, ilyen hatás lehet a fényintenzitás, a fény spektrális összetétele vagy a hőmérséklet változása, illetve elektromos feszültség hatására változhatnak az optikai tulajdonságok.

Vizsgálatok:

A leggyakrabban használt fix és mobil árnyékolók sík felülettel rendelkeznek. Így viszonylag kis szögtartományban működnek hatékonyan. Ezért a vizsgálatok a görbe felületekre irányulnak. Ezzel szélesebb beesési szögtartományban válik alkalmazhatóvá görbe felületű lamellás árnyékoló.

A vizsgálatok elvégzése előtt kiindulásképpen az alábbi szempontok figyelembe vétele és optimális összeegyeztetése a feladat.

- A görbe felülettel mennyiben biztosítható a diffúz megvilágítás?
- Milyen görbe felület, illetve mekkora lamellatávolság alkalmazható legoptimálisabban?

A távolság meghatározásánál több egymással ellentétes célt kellene kielégíteni:

- A direkt napsugárzás bejutásának megakadályozása, azaz káprázásmentesség biztosítása,
- nyáron a szoláris terhelés csökkentése,

- a belső tér kellő természetes megvilágításának biztosítása,
- vizuális kapcsolat a külső környezettel, azaz a kitekintés biztosítása.

Lamella-rendszerénél viszonylag finoman szabályozható a fényhozam, továbbá korlátok között biztosítható a kitekintés is, valamint nyitható ablakszárny mellett a szellőzést is. Aktív napvédelem esetén a külvilággal való vizuális kapcsolat, a transzparencia igénye perforált elemek alkalmazását jelenti.

A mozgatható lamellarendszer védelmi és ellátó funkciója, ezen belül a napvédelmi és fényterelési hatása finoman szabályozható [V. Horn, 2016]:

- a lamella hajlásszögének állításával a felső és általános területen,
- eltérő reflexiós tényezőjű lamellák a felső és alsó részén,
- a lamellafelület geometriai strukturálásával.

Kedvező a változtatható hajlásszögű lamellarendszer, ahol is a felső sávban a hajlásszög sokkal kisebb. Így egyszerre teljesíthető a napfényvédelem és a fényáteresztés. Ezek az elvek fix árnyékoló-rendszereknél korlátozottan érvényesíthetők.

A vizsgálatokat 3 különböző időpillanatban végeztem el, melyek különböző évszakokhoz tartoznak. A szerkesztéshez a kiindulási adatok a Homlokzati árnyékoló, elsötétítő és fényvédő szerkezetek c. kiadványból származnak.

A nyári beesési szög maximális értéke június 22-én mért érték ($66,5^\circ$), a téli minimális érték december 21-én mérve ($19,5^\circ$), míg a tavaszi és őszi értékek március 21-én és szeptember 23-án megegyeznek (43°)

A nyári vizsgálatok esetén a hatékonyság növelhető, ha minél több százalékát visszaveri a terhelésnek az adott szerkezet, viszont a beengedett sugarakat minél nagyobb arányban a mennyezetre vetítse, ezzel elérve az optimális megvilágítást.

A lamellák kialakítása miatt a direkt fénysugarak csak a téli beesésű vizsgálatok esetén jelentkeznek, mely előnyként tartható számon a fűtési energia mérséklésében.

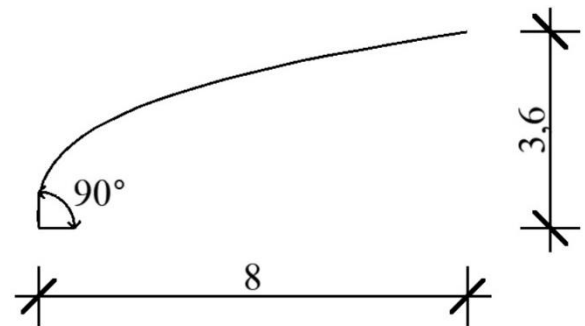
A vizsgálatok csak a lamellák geometriájára terjedtek ki. Az árnyékoló további rendszerelemeivel, működtetésével nem foglalkoztam. A szerkesztéseket Archicad program diákverziójával végeztem.

A kísérletet 4 féle ív típuson végeztem el (sin ív., ellipszis ív, x^3 ív., log ív.), melynek eredményei a következők:

A jellemzésekben szereplő adatokat és értékeket összefoglaló táblázat a mellékletek között szerepel (1. melléklet)

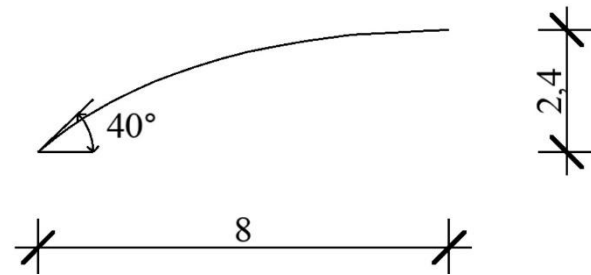
1. eset (x^3 függvény):

A vizsgálatot 20 cm-es lamellák közti távolsággal végeztem el. A kezdő érintő 90° -os szöget zár be a vízszintessel, valamint 3,6 cm-t takar ki a kilátásból lamellánként. Nyári beesés esetén a lamellák 44,44%-át visszaverik az érkező sugaraknak, míg ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 14,29%, (ekkor a direkt sugárzás mértéke 39,46%) és a téliben mindössze 16,67% (ekkor a direkt sugárzás mértéke 64,29%). A megtört sugarak 38,1%-a éri el az ablaküveget a nyári időpillanatban Ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 31,97% és a téli időpillanatban 13,10%.

1.ábra.-alkalmazott x^3 függvény

2. eset (log függvény):

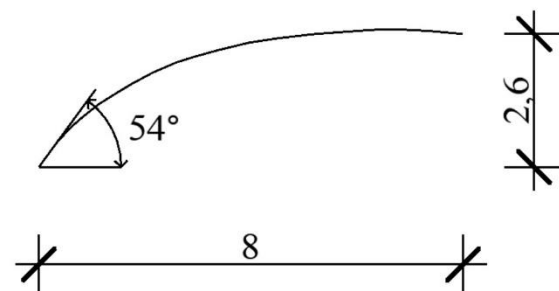
A vizsgálatot 20 cm-es lamellák közti távolsággal végeztem el. A kezdő érintő 40° -os szöget zár be a vízszintessel, valamint 2,4 cm-t takar ki a kilátásból lamellánként. Nyári beesés esetén a lamellák 50%-át visszaverik az érkező sugaraknak, míg ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 20%, (ekkor a direkt sugárzás mértéke 34,29%). A téli pillanatban viszont 0% (ekkor a direkt sugárzás mértéke 70,13%). A megtört sugarak 32,14%-a éri el az ablaküveget a nyári időpillanatban Ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 31,43% és a téli időpillanatban 22,08%.



2.ábra.-alkalmazott log függvény

3. eset (ellipszis ív):

A vizsgálatot 20 cm-es lamellák közti távolsággal végeztem el. A kezdő érintő 54° -os szöget zár be a vízszintessel, valamint 2,6 cm-t takar ki a kilátásból lamellánként. Nyári beesés esetén a lamellák 28,57%-át visszaverik az érkező sugaraknak, míg ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 20%, (ekkor a direkt sugárzás mértéke 34,29%), a téli

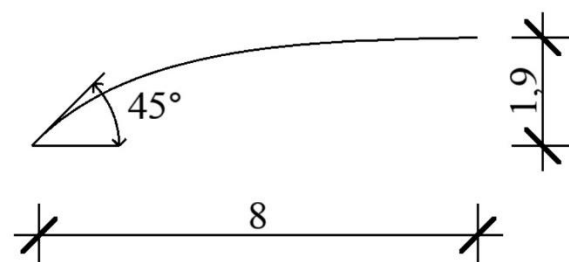


időpillanatban pedig 8,33% (ekkor a direkt sugárzás mértéke 72,62%). A megtört sugarak 30,36%-a éri el az ablaküveget a nyári időpillanatban Ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 34,29% és a téli időpillanatban 23,81%.

Sin(x) függvény alkalmazása: A kísérletet négy különböző kombinációval végeztem el, melyben a lamellák közti távolságot, illetve a kezdő érintő vízszintessel bezárt szögét módosítottam. Az első (4.eset) sin függvénnyel végzett szerkesztés után az eredményeket figyelembe véve, kedvezőnek gondoltam ezt az ív fajtát, ezért változtattam meg pár értéket abban a reményben, hogy így optimálisabb esetet kaphatok.

4. eset (sin(x)függvény):

A vizsgálatot 20 cm-es lamellák közti távolsággal végeztem el. A kezdő érintő 45° -os szöget zár be a vízszintessel, valamint 1,9 cm-t takar ki a kilátásból lamellánként. Nyári beesés esetén a lamellák 33,33%-át visszaverik az érkező sugaraknak, míg ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 204,76%, (ekkor a direkt sugárzás mértéke 44,22%), a téli időpillanatban pedig 3,51% (ekkor a direkt sugárzás mértéke 71,43%). A megtört sugarak 47,62%-a éri el az ablaküveget a nyári időpillanatban Ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 29,93% és a téli időpillanatban 18,05%.



4.ábra.-alkalmazott sin(x) függvény a 4-5 esethez.

5. eset (sin(x)függvény):

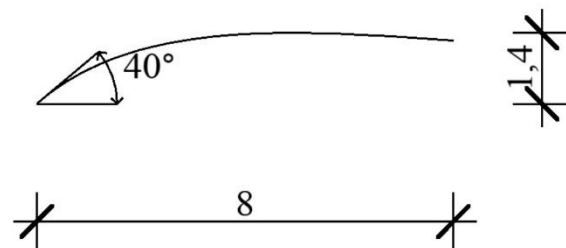
A vizsgálatot 15 cm-es lamellák közti távolsággal végeztem el. A kezdő érintő 45° -os szöget zár be a vízszintessel, valamint 1,9 cm-t takar ki a kilátásból lamellánként. Nyári beesés esetén a lamellák 42,86%-át visszaverik az érkező sugaraknak, míg ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 18,75%, (ekkor a direkt sugárzás mértéke 34,72%), a téli időpillanatban pedig 4,76% (ekkor a direkt sugárzás mértéke 69,05%). A megtört sugarak 30,16%-a éri el az ablaküveget a nyári időpillanatban Ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 36,11% és a téli időpillanatban 20,37%.

6. eset ($\sin(x)$ függvény):

A vizsgálatot 15 cm-es lamellák közti távolsággal végeztem el. A kezdő érintő 40° -os szöget zár be a vízszintessel, valamint 1,4 cm-t takar ki a kilátásból lamellánként. Nyári beesés esetén a lamellák 28,57%-át visszaverik az érkező sugaraknak, míg ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 13,33%, (ekkor a direkt sugárzás mértéke 42,22%), a téli időpillanatban azonban 0% (ekkor a direkt sugárzás mértéke 72,09%). A megtört sugarak 55,56%-a éri el az ablaküveget a nyári időpillanatban Ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 39,26% és a téli időpillanatban 22,74%.

7. eset ($\sin(x)$ függvény):

A vizsgálatot 20 cm-es lamellák közti távolsággal végeztem el. A kezdő érintő 40° -os szöget zár be a vízszintessel, valamint 1,4 cm-t takar ki a kilátásból lamellánként. Nyári beesés esetén a lamellák 42,86%-át visszaverik az érkező sugaraknak, míg ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 5%, (ekkor a direkt sugárzás mértéke 48,57%), a téli időpillanatban azonban 0% (ekkor a direkt sugárzás mértéke 78,69%). A megtört sugarak 41,56%-a éri el az ablaküveget a nyári időpillanatban Ez az érték az őszi/tavaszi időpillanatban 35% és a téli időpillanatban 15,25%.

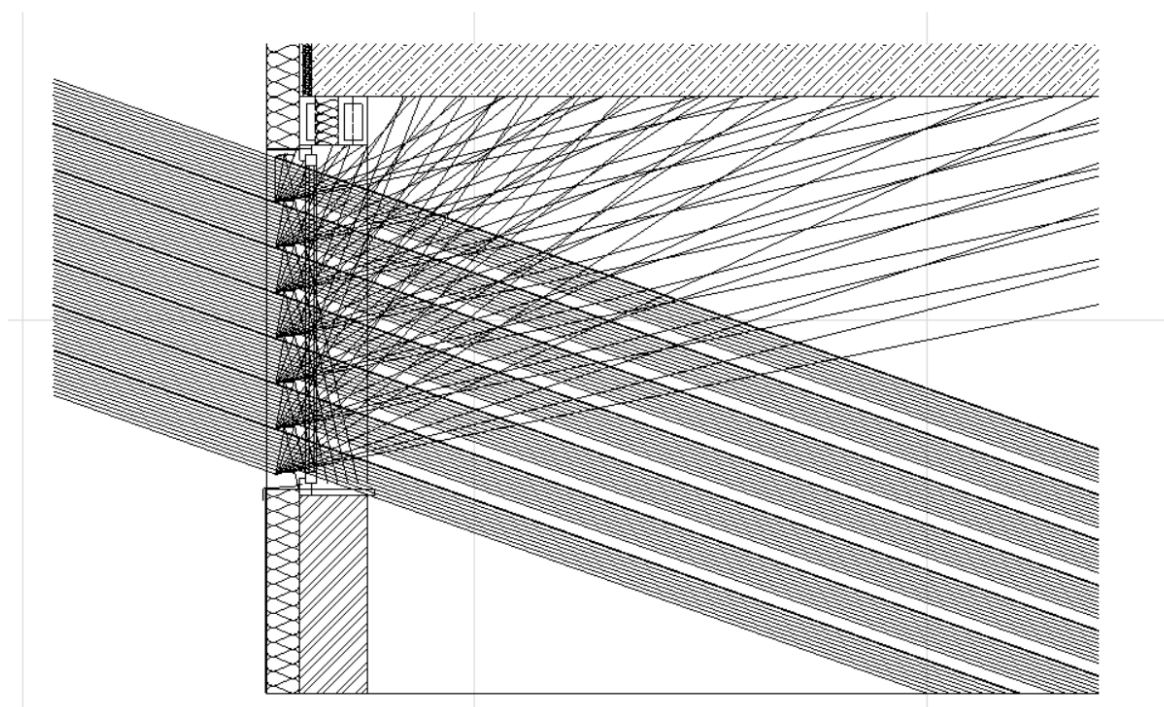


5.ábra.-alkalmazott \sin függvény a 6-7. esethez

Több szempont alapján rangsoroltam a különböző esetek és ezek alapján hoztam meg a döntést.

- Kitekintés szempontjából az a kedvezőbb, ha minél kevesebb területet takarnak ki az egyes lamellák. Ezek alapján a $\sin(x)$ függvények a legoptimálisabbak, ezek közül is a 40° -os kezdőérintővel rendelkező esetek. A választott 7. eset emiatt az első helyen szerepel.
- Nyári hőterhelés mérséklése a mennyezetre történő vetítéssel kombinálva: Figyelembe véve a külső térbe visszavert sugarak százalékos arányát, nem a választott eset a legkedvezőbb, azonban a mennyezetet megvilágító fénysugarak közül egyértelműen a 7.eset a legkedvezőbb.
- Direkt sugarak tekintetében az a kedvező eset, ha nyáron a lehető legkisebb és télen a legnagyobb. Ezt teljes mértékben kielégíti a 7.eset.

Ezek alapján egyértelműen el tudtam dönteni, hogy a 7.esettel foglalkozom a továbbiakban.



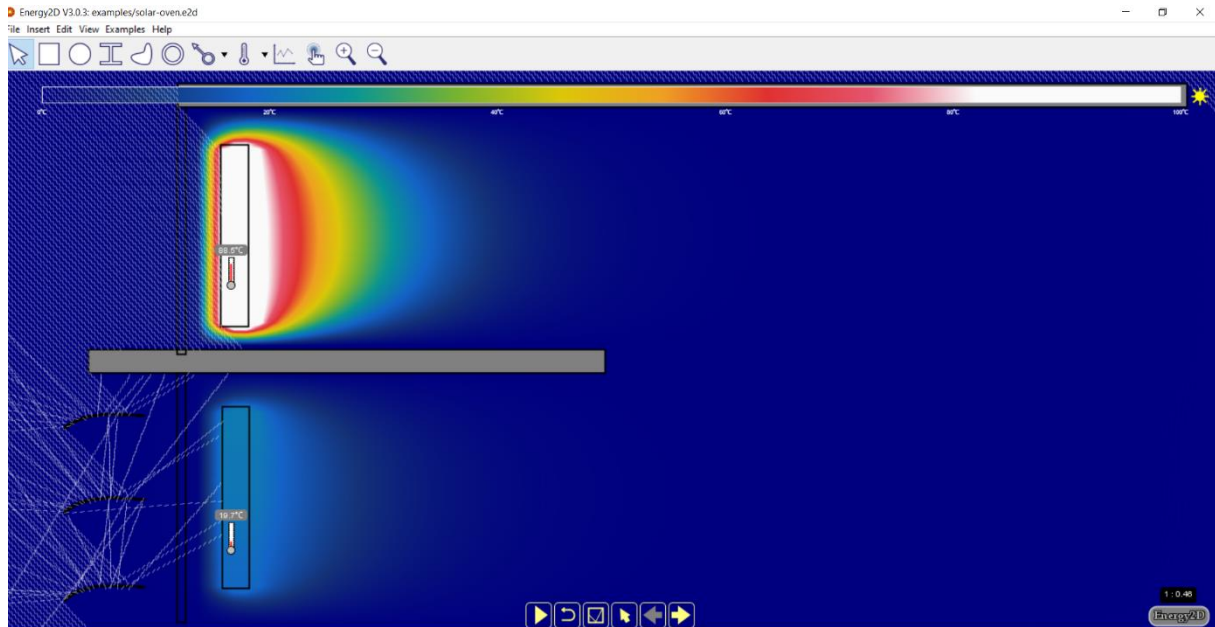
A választott 7. eset téli vizsgálata

Erre az esetre már Energy2D programmal szemléltető modellt készítettem. A program részletessége nem tette lehetővé, hogy mindent pontosan be tudjak állítani, közelítést alkalmaztam. Az árnyékoló egy részletével dolgoztam tovább. A vízszintes elemek csupán elválasztás céljával kerültek elhelyezésre, a szimulációban nem vesznek részt. A függőleges

test az üveg, és a mögötte elhelyezett test felmelegedését vizsgáltam. A betonnal megegyező tulajdonságokkal láttam el.

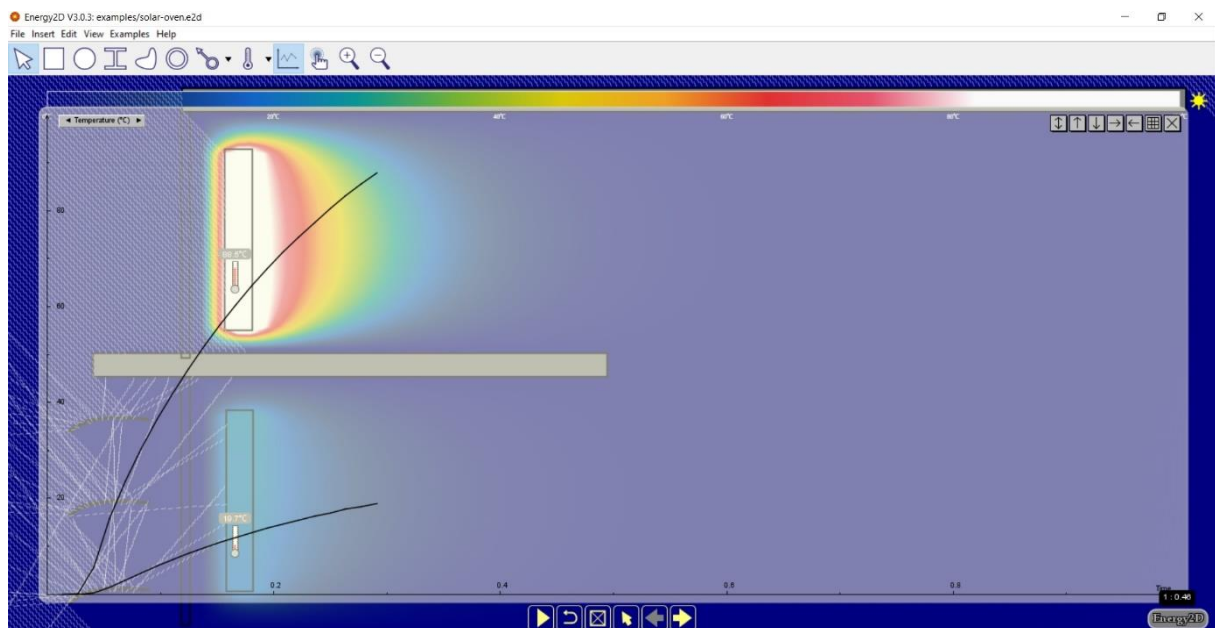
Az eredményeket az alábbi ábrák szemléltetik:

A 66,5°-os nyári esetet mutatja be ez a két ábra. A hőmérőről leolvasható a jelentős különbség.



Nyári vizsgálat eredménye

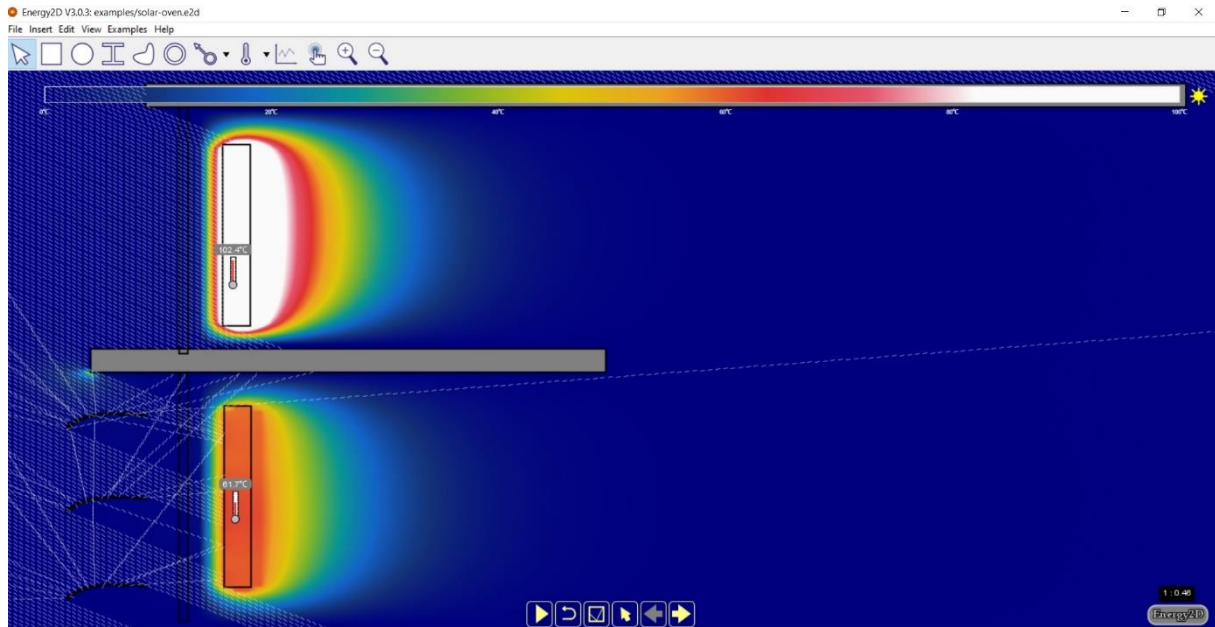
Ezen az ábrán az előzőben bemutatott nyári eset értékei láthatóak diagram formában. A vízszintes tengelyen az idő, a függőleges tengelyen a két hőmérő által mért hőmérsékletek láthatóak.



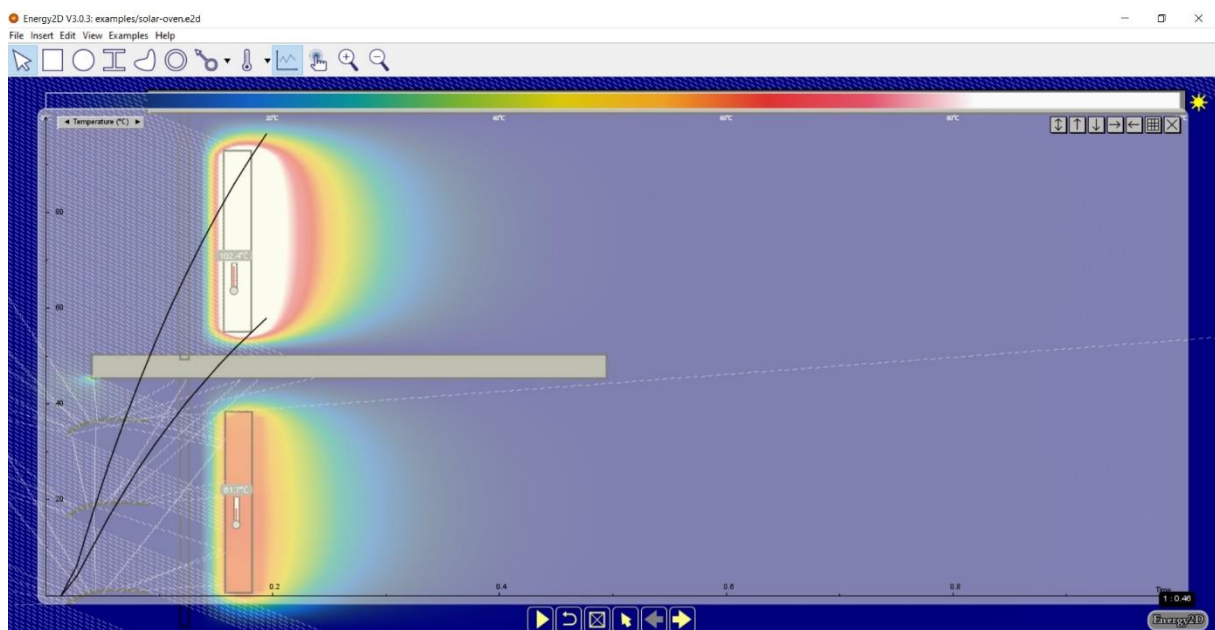
Nyári vizsgálat eredménye diagram formájában

A következő ábrák esetén a beesési szöget változtattam, minden más maradt ugyanaz.

Az őszi/tavaszi esetben megállapítható, hogy a hőmérők által mutatott hőmérsékletek nem térnek el olyan mértékben egymástól, melynek oka a nagyobb százaléku direkt besugárzás

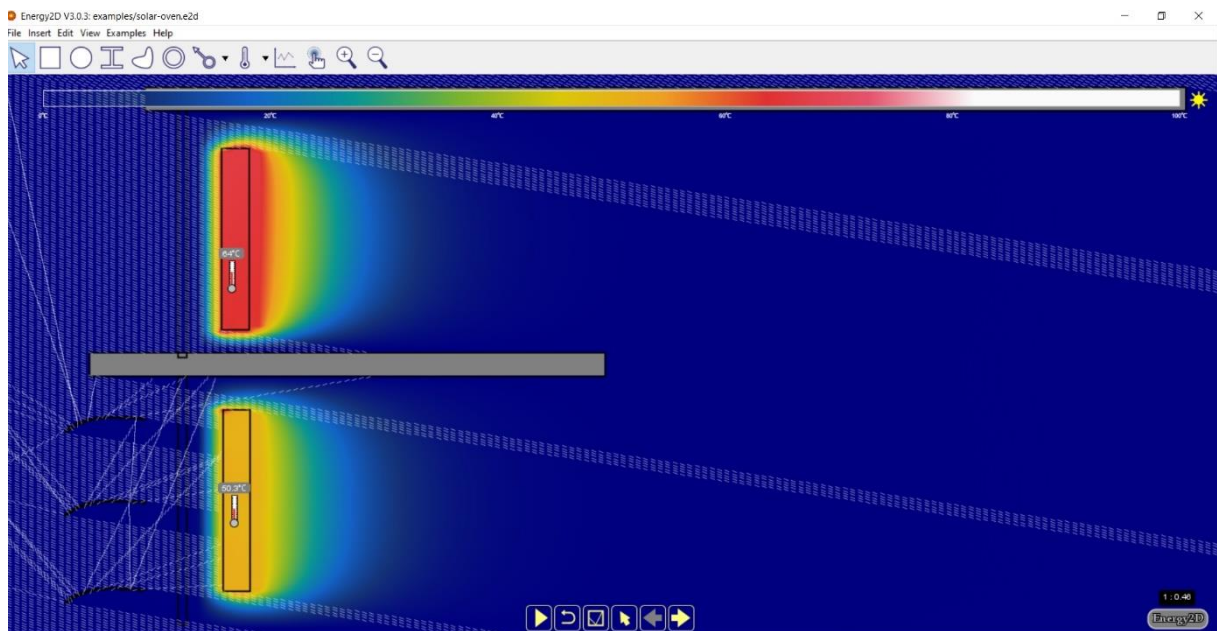


Tavaszi/őszi vizsgálat eredménye

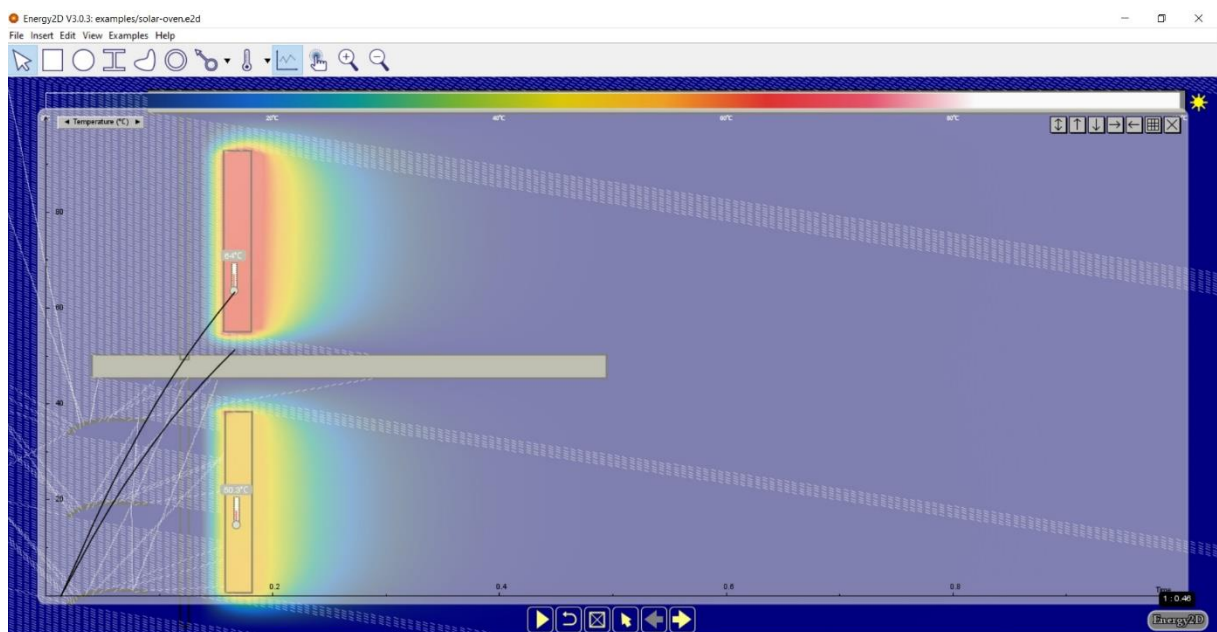


Tavaszi/őszi vizsgálat eredménye diagram formájában

A direkt besugárzás mértéke tovább fokozódik a téli esetben, mely kedvező a fűtési energia megtakarítása miatt.



Téli vizsgálat eredménye



Téli vizsgálat eredménye diagram formájában

További fejlesztési lehetőségek

A téma számos további kérdést vet fel, amellyel az elkövetkezendőkben kívánok foglalkozni, például a gazdaságosság és energiahatékonyság vizsgálata, adott árnyékoló rendszer kifejlesztése, beépítési lehetőségek vizsgálata.

A szakirodalomban fellelhető energetikai szempontú elemzés is. J. Gerstmann modellszámításokat végzett egy átlagos nagyságú, ötszintes szalaghomlokzattal és 70%-os üvegezéssel rendelkező irodaépületre, és vizsgáltak négy különböző árnyékolási rendszerrel ellátva számolta az épület energiaigényét. Az összehasonlításban kézi mozgatású belsőárnyékolás, napvédőüveg és belső árnyékolás kézi mozgatással, külső zsaluzia automatikus vezérléssel, valamint automatikus vezérléssel ellátott, üveg síkok közé integrált fényterelő zsaluzia szerepelt [Varga et al. 2013].

A vizsgálat a hűtési, a fűtési, a mesterséges megvilágítás energiaszükségletre, valamint az összenergia-felhasználásra (magában foglalva a szellőzés, a munkaeszközök és a lift üzemeltetési energiaigényét is) terjedt ki. A modellszámítás kimutatta, hogy belső árnyékoláshoz képest a külső zsaluzia esetén 50%-os, napvédő üveg esetén ~45%, üvegezésbe integrált zsaluzia esetén ~25% hűtési energia-megtakarítás érhető el. A fűtési e-szükséglet a külső zsaluzia alkalmazásával nem változott a belső árnyékolású esethez képest, viszont a mesterséges megvilágításé nőtt mintegy 8%-kal. Csökkenést az üvegezésbe integrált zsaluziánál mutattak ki mind a fűtés, mind a mesterséges megvilágítás energiaszükségletében. Összességében a tanulmány azt mutatta ki, hogy a belső árnyékoláshoz képest a napvédő üvegezés alkalmazásával 5%-os, a külső zsaluzia esetén 12%-os és az üvegezésbe integrált zsaluzia beépítésével 23%-os összenergia-megtakarítás érhető el.

Ez mindenképp további pontosítást igényel, hiszen egy adott időjárási feltételeket rögzítve születtek meg a fentebbi értékek.

A beépítéshez bemutatok egy javaslatot, mely a mellékletek között megtalálható. (23.melléklet)
Ezek mind továbbfejlesztést igényelnek.

Összefoglaló:

A globális felmelegedés miatt az épületek üzemeltetésében az épület hűtésére fordított energia igen jelentős. Ennek csökkentése megfelelő napvédelmiintézkedésekkel lehetséges. Az árnyékoló szerkezetek védelmi és ellátó funkciót töltenek be. Az árnyékolószerkezeteknek biztosítaniuk kell a napvédelmet, káprázásmentességet, a nyárihőterhelés csökkenését, a helyiségek természetes megvilágítását, a külvilággal a vizuális kapcsolatot és fűtési időszakban a szoláris nyereség realizálását, lehetővé kell tenniük a helyiségek természetes szellőzését.

A dolgozatom áttekinti a leggyakrabban alkalmazott árnyékoló szerkezeteket, illetve ismerteti néhány korszerű napvédelemi rendszert. A fejlesztések célja az energiahatékonyság, továbbá a napsugárzás változásának dinamikus követése és a minél jobb természetes megvilágítás. A dolgozatom középpontjában a görbe felületű lamellák vizsgálata áll. A fix és mobil árnyékolók döntő többsége sík felületű. Ezzel szemben a görbe felület sokkal szélesebb szögtartományban alkalmas arra, hogy egy árnyékoló szerkezet lamellájaként megfelelő napvédelmet biztosítson. Vizsgálatokat végeztem x^3 függvény, log függvény, ellipszis ív és négy különböző $\sin(x)$ függvényre. Fényterelés, a direkt napsugarak kizárása és a kitekintés szempontjából ezek közül a $\sin(x)$ függvény a legkedvezőbb. Evvel készítettem Energy 2D programmal szimulációt. Ez lehet további hőtechnikai és energetikaivizsgálatok kiindulási pontja.

Summary

Due to global warming the buildings' cooling energy is significant. The reduction of this is possible with the appropriate sun/solar protection actions. The shading structures have roles as protection and supply functions. The shading structures need to ensure the sun/solar protection, the glare relief, the reduction of summer heat load, the natural lighting of the rooms, the visual connection with the outside, the realization of the solar gain at the heating season, and they have to allow the ventilation of premises. My thesis reviews the most often used shading structures and also describe some up-to-date sun/solar protection systems. The purpose of the developments is the energy efficiency, furthermore the dynamic follow of the changing of the solar radiation and the better natural lighting. The focus of my study is the investigation of the curved fins. The majority of the fix and mobile shadings are flat surfaced. In contrast, the curved shading structures are able to ensure proper sun/solar protection in a much higher angle. I investigated x^3 , log and 4 different $\sin(x)$ functions, and ellipse arc. For deflection of light, exclusion of direct sunlight and outlook, the best is the $\sin(x)$ function. I made with this a simulation in Energy 2D program. This could be the initial point of further thermal and energetic inquiry.

Köszönetnyilvánítás:

Szeretném megköszönni elsősorban konzulensemnek Dr.V.Horn Valériának, hogy lehetővé tette a dolgozat elkészítését és végig segített, ahol nehézségekbe ütköztem.

Továbbá szeretnék köszönetet mondani Dr. Nagy Balázsnak és Dr. Szalay Zsuzsának, akik szintén segítségemre voltak a dolgozat megvalósulásában. Ha szükség volt rá segédanyagokkal, vagy hasznos tanácsokkal láttak el.

Hivatkozások:

Dreher, Philip : Variabler Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) von Fassaden -Dissertation, Technische Universität München , 2009

<https://www.baunetzwissen.de/glossar/f/fc-wert-47889> letöltés: 2019. X. 21.

Mészáros R: Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek, 2013 Tankönyvtár -2019.X.19

Ottó Györgyné (et al.): Homlokzati árnyékoló, elsötítő és fényvédő szerkezetek, TTI, Budapest, 1978

Schittlich, Ch., Staub, G., Balkow, D. Schuler, M., Sobek, W., Glasbau Atlas, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG. München, 2006

https://books.google.hu/books?id=CWfRAAAAQBAJ&pg=PA139&lpg=PA139&dq=Verschattungskoeffizient&source=bl&ots=_kjSZ5NYlg&sig=ACfU3U05hOwvi7hHBepON96_u-LUQ_MXvw&hl=hu&sa=X#v=onepage&q&f=false

letöltés: 2019.X. 23.

Varga, M., Gerstmann, J., Kuh,Ch., Hofer, G.: Sonnenschutz! voraus - Technologieleitfaden Sonnenschutzsysteme, Magistrat der Stadt Wien, Magistratabteilung 20-Energieplanung, 2013 letöltés: 2019. X. 18.

V. Horn V: Homlokzatok tervezésének épületszerkezeti szempontjai, GlobeEdit, Saarbrücken, 2016

Zöld A., Szalay Zs., Csoknyai T.: Energiatudatos építészet 2.0, Terc Kiadó, Budapest, 2016

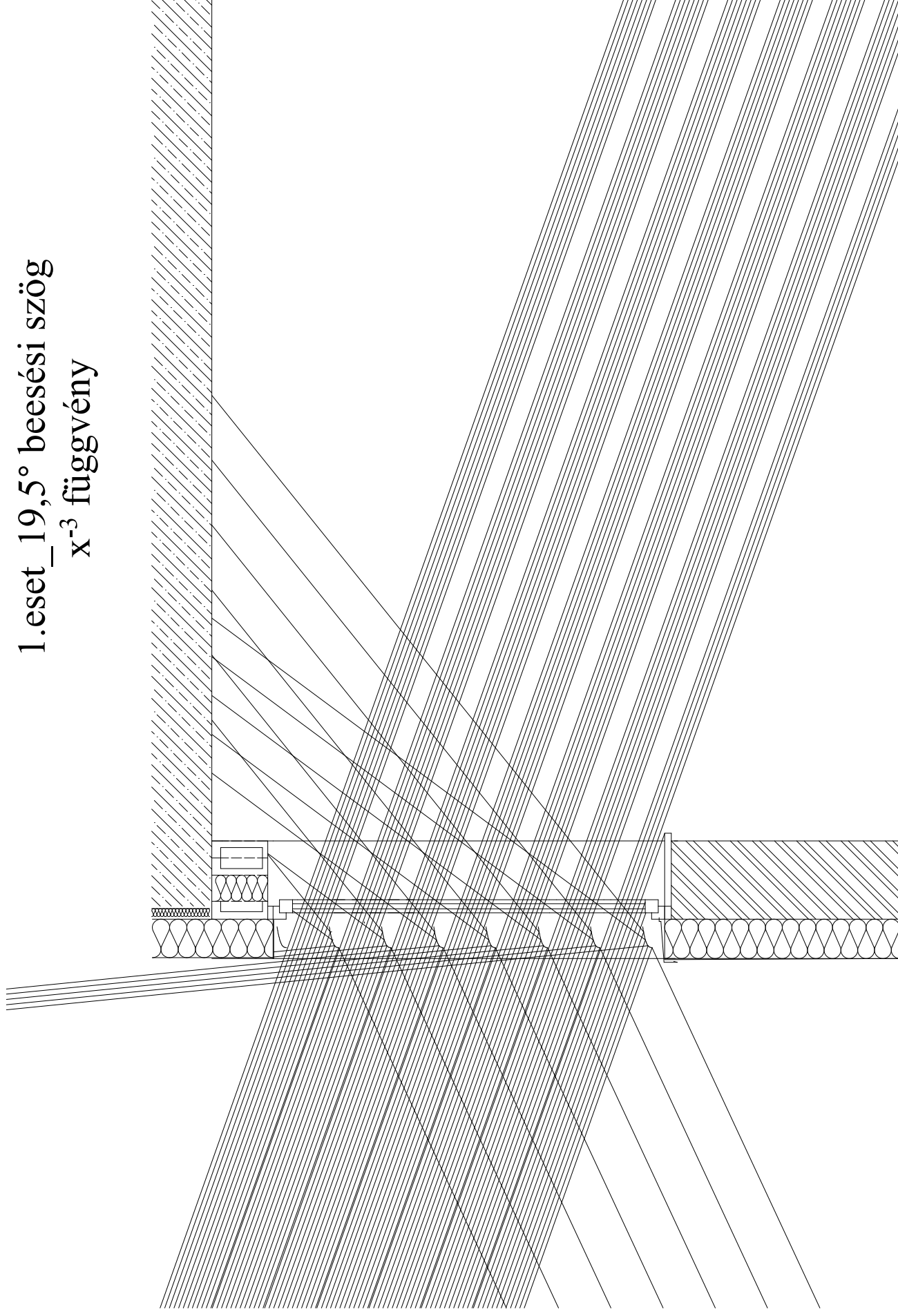
Mellékletek:

kísérletek sorszáma	vizsgált évszak	fényugarak beesési szöge	lamellák függőleges távolsága [cm]	kezdő érintő vízszinteesel bezárt szöge	lamellák által kitkarta vastagság [cm]	kísérleti ívdarab	kültérbe visszavert sugarak [%]	homlokzat síkjához érkező sugarak[%]			
								direkt sugarak	üvegen átmenő sugarak	menyезetre vetítő	padlóra vetítő
1.eset	nyár	66,5°	20	90	3,6	x^3 függvény	44,44	0,00	38,10	9,52	28,57
	tavaszi/ősz	43°						39,46	31,97	21,77	10,20
	tél	19,5°						64,29	13,10	13,10	0,00
2.eset	nyár	66,5°	20	40	2,4	log függvény	50,00	0,00	32,14	17,86	14,29
	tavaszi/ősz	43°						34,29	31,43	31,43	0,00
	tél	19,5°						70,13	22,08	16,88	5,19
3.eset	nyár	66,5°	20	54	2,6	ellipszis ív	28,57	0,00	30,36	12,50	17,86
	tavaszi/ősz	43°						34,29	34,29	34,29	0,00
	tél	19,5°						72,62	23,81	19,05	4,76
4.eset	nyár	66,5°	20	45	1,9	sin(x) függvény	33,33	0,00	47,62	33,33	14,29
	tavaszi/ősz	43°						44,22	29,93	21,77	8,16
	tél	19,5°						71,43	18,05	15,04	3,01
5.eset	nyár	66,5°	15	45	1,9		42,86	0,00	30,16	9,52	20,63
	tavaszi/ősz	43°						34,72	36,11	31,25	4,86
	tél	19,5°						69,05	20,37	20,37	0,00
6.eset	nyár	66,5°	15	40	1,4		28,57	0,00	55,56	41,27	14,29
	tavaszi/ősz	43°						42,22	39,26	34,81	4,44
	tél	19,5°						72,09	22,74	17,57	5,17
7.eset	nyár	66,5°	20	40	1,4		42,86	0,00	41,56	41,56	0,00
	tavaszi/ősz	43°						48,57	35,00	28,57	6,43
	tél	19,5°						78,69	15,25	14,29	0,97

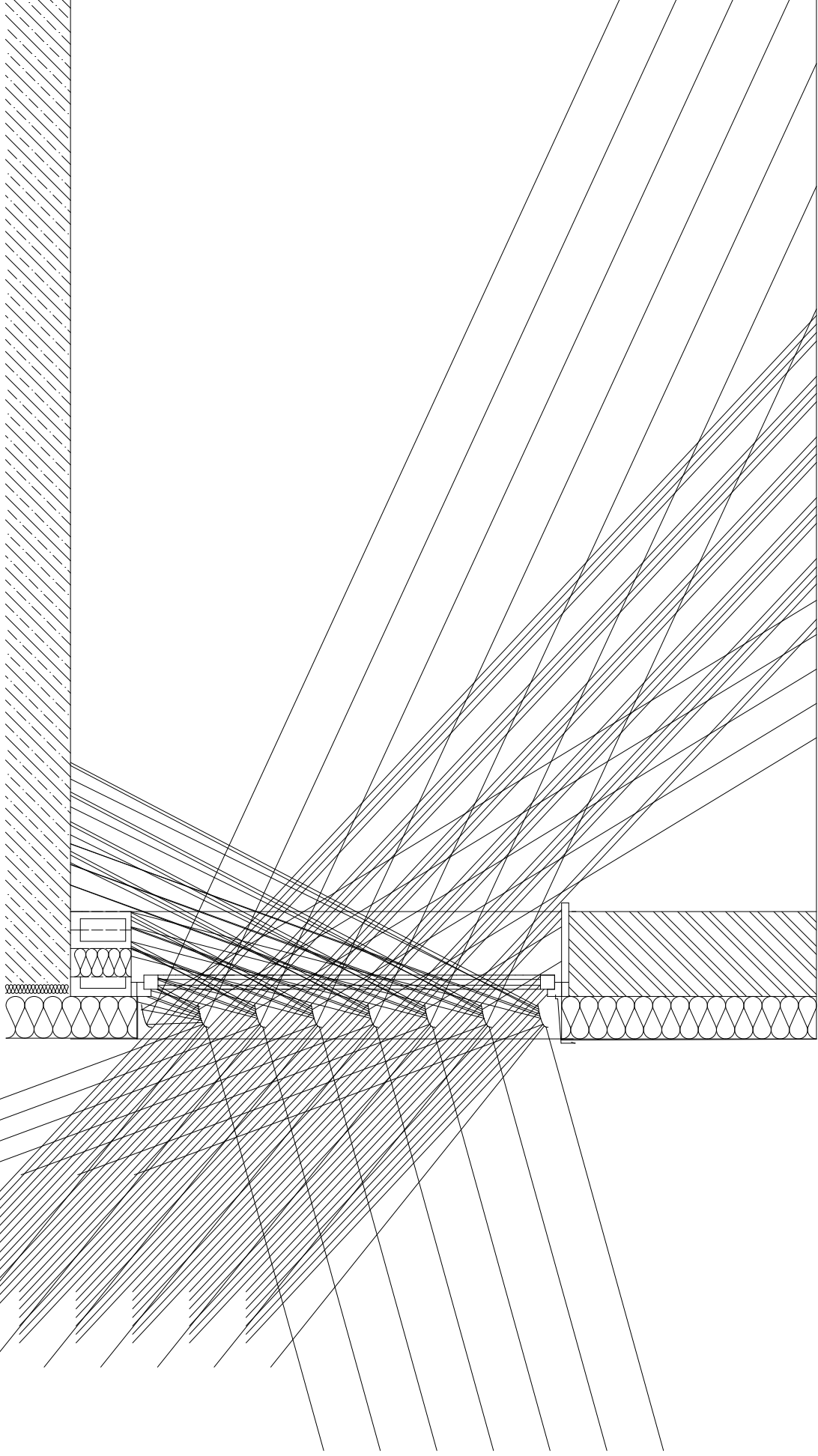
A választott eset

1.melléklet- az eredményeket összefoglaló táblázat

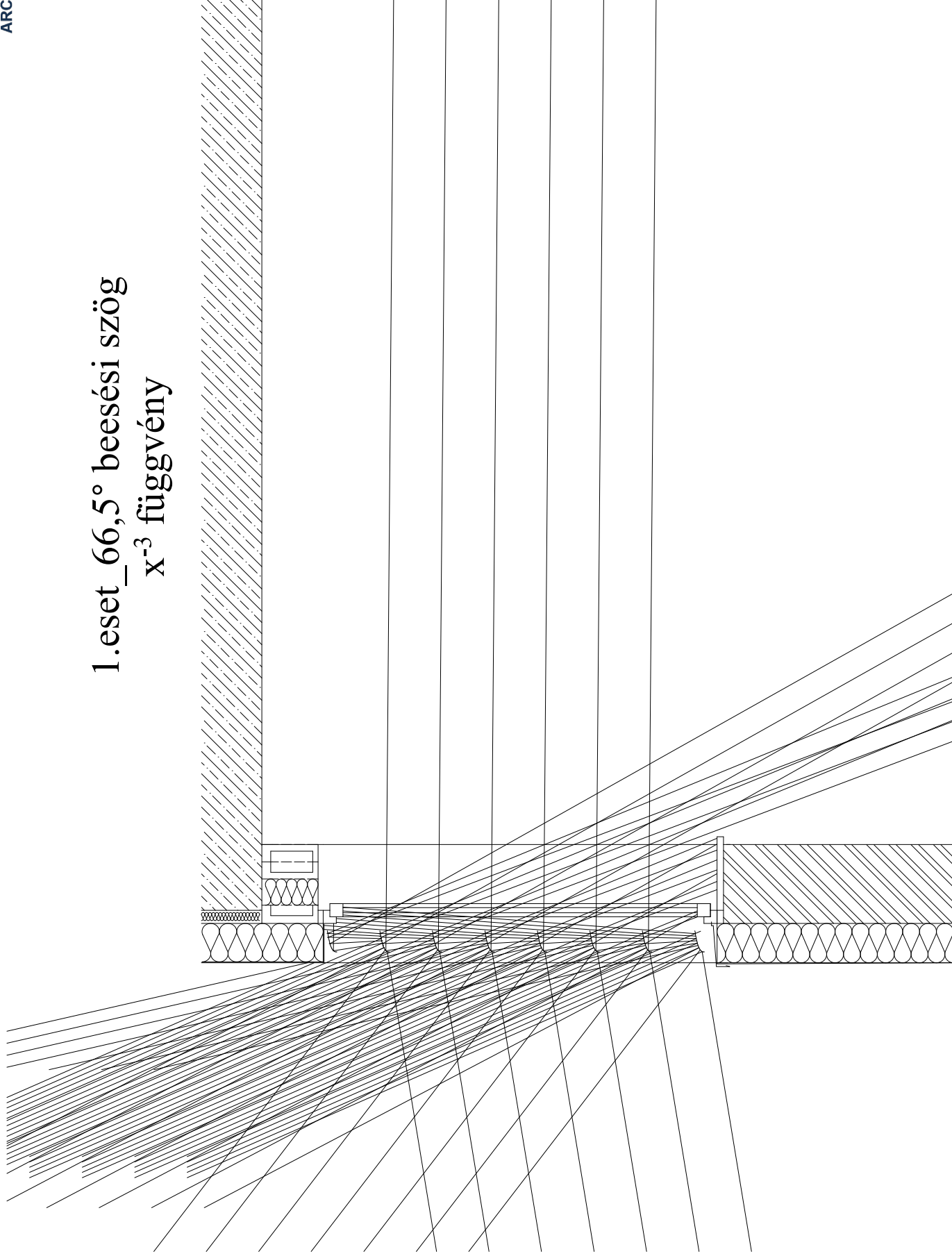
1.eset_19,5° beesési szög x⁻³ függvény



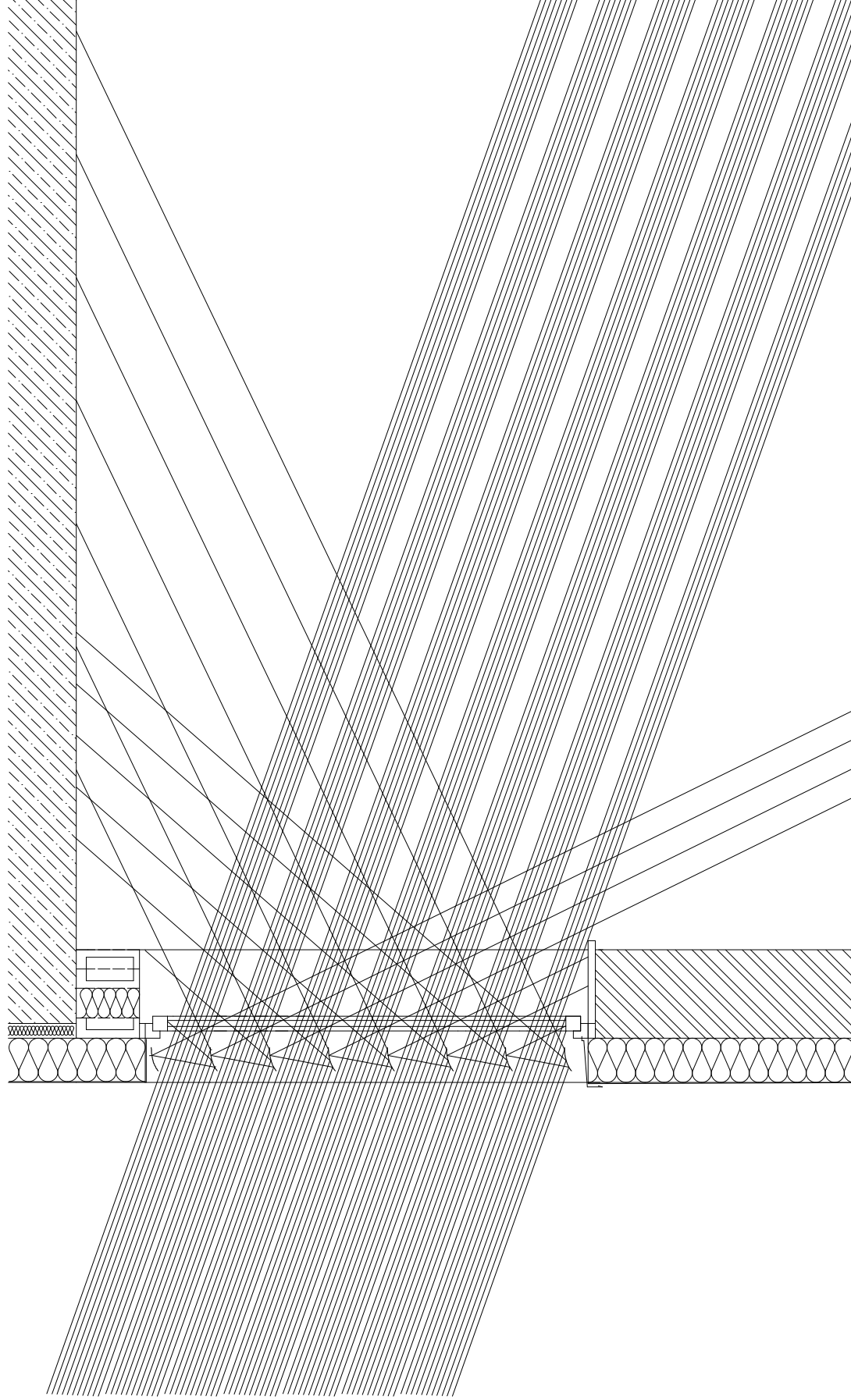
1.eset 43° beesési szög
 x^{-3} függvény



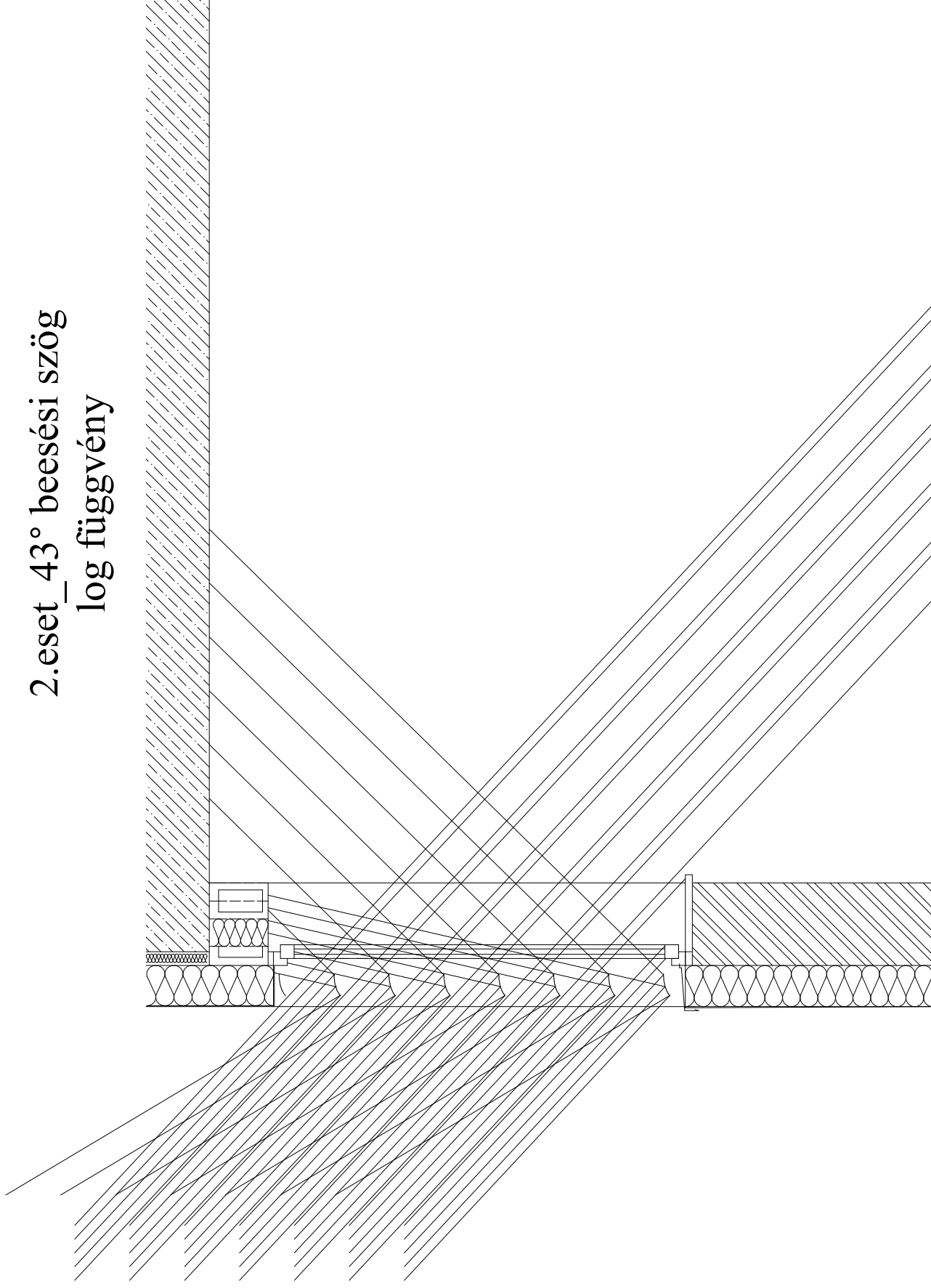
1.eset_66,5° beesési szög
x⁻³ függvény



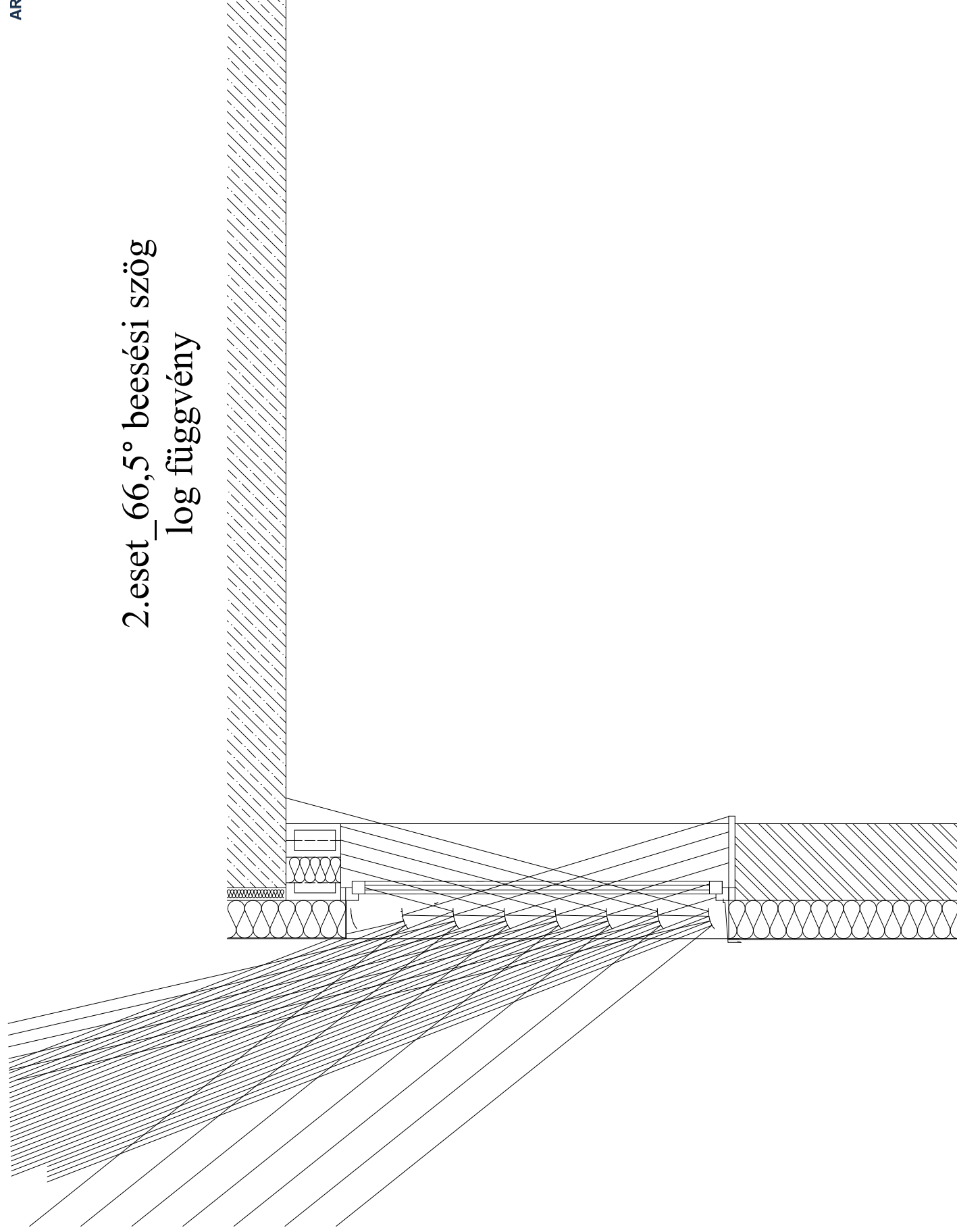
2.eset_19,5° beesési szög
log függvény



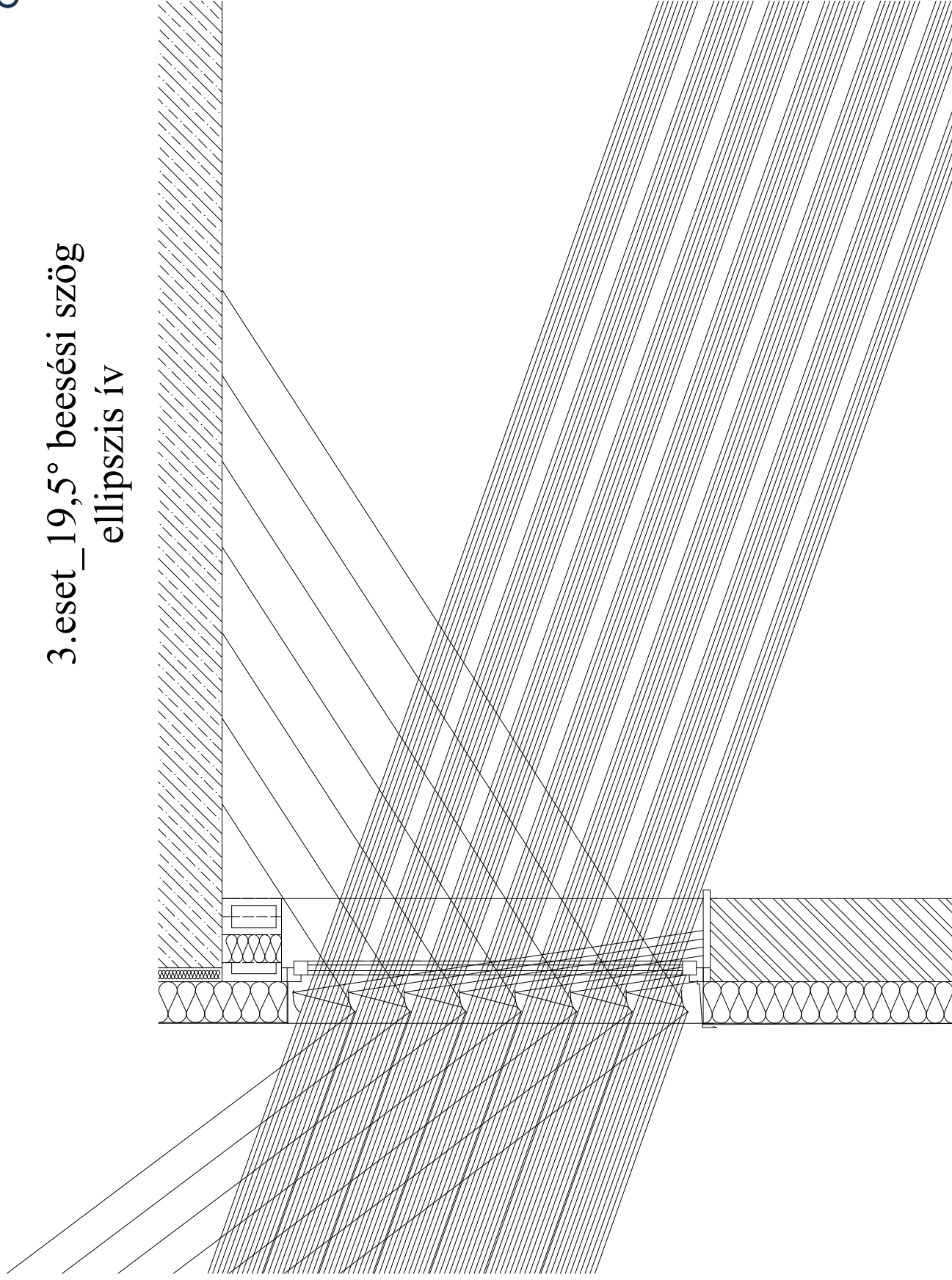
2.eset_ 43° beesési szög log függvény



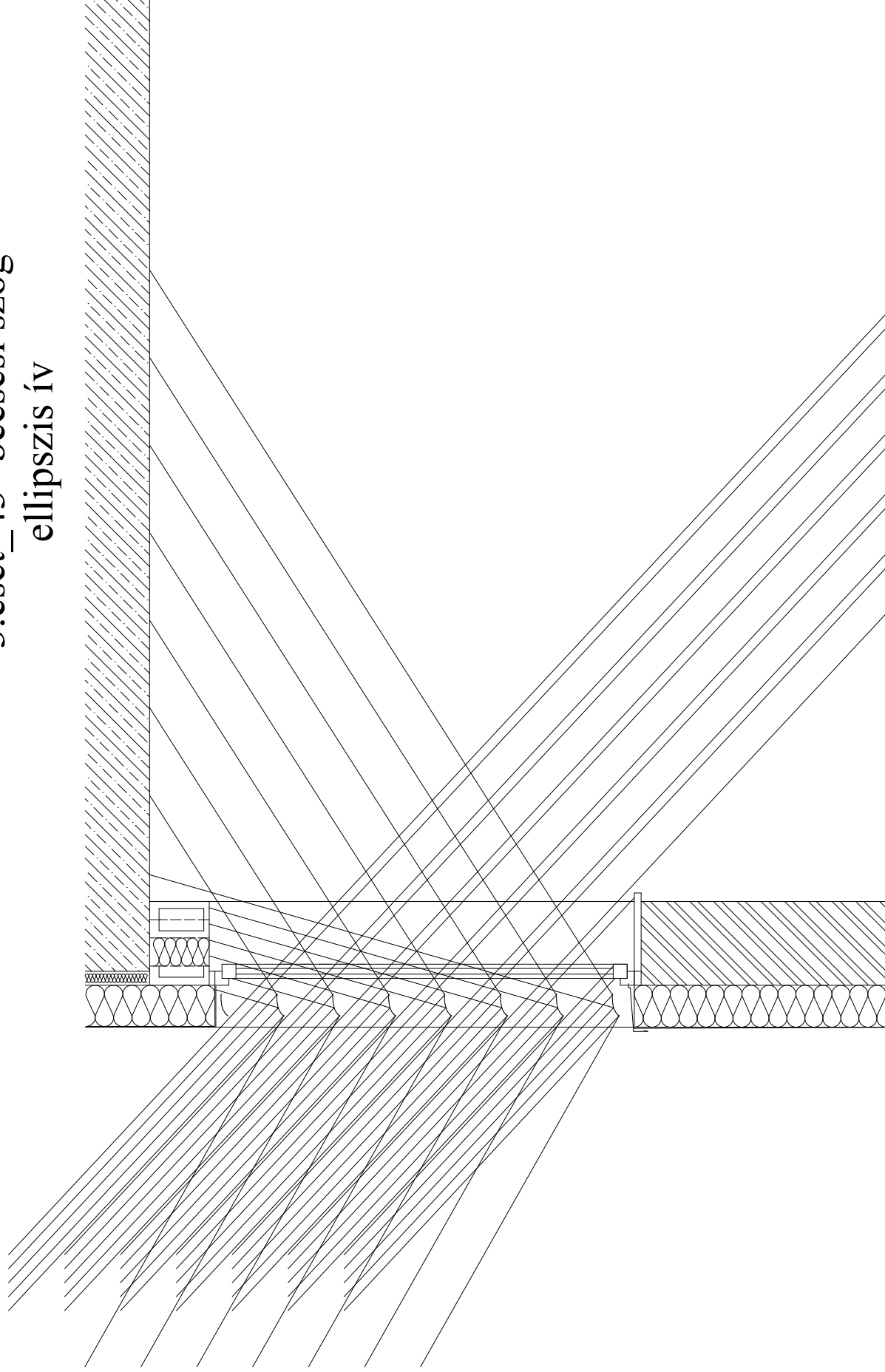
2.eset_66,5° beesési szög log függvény



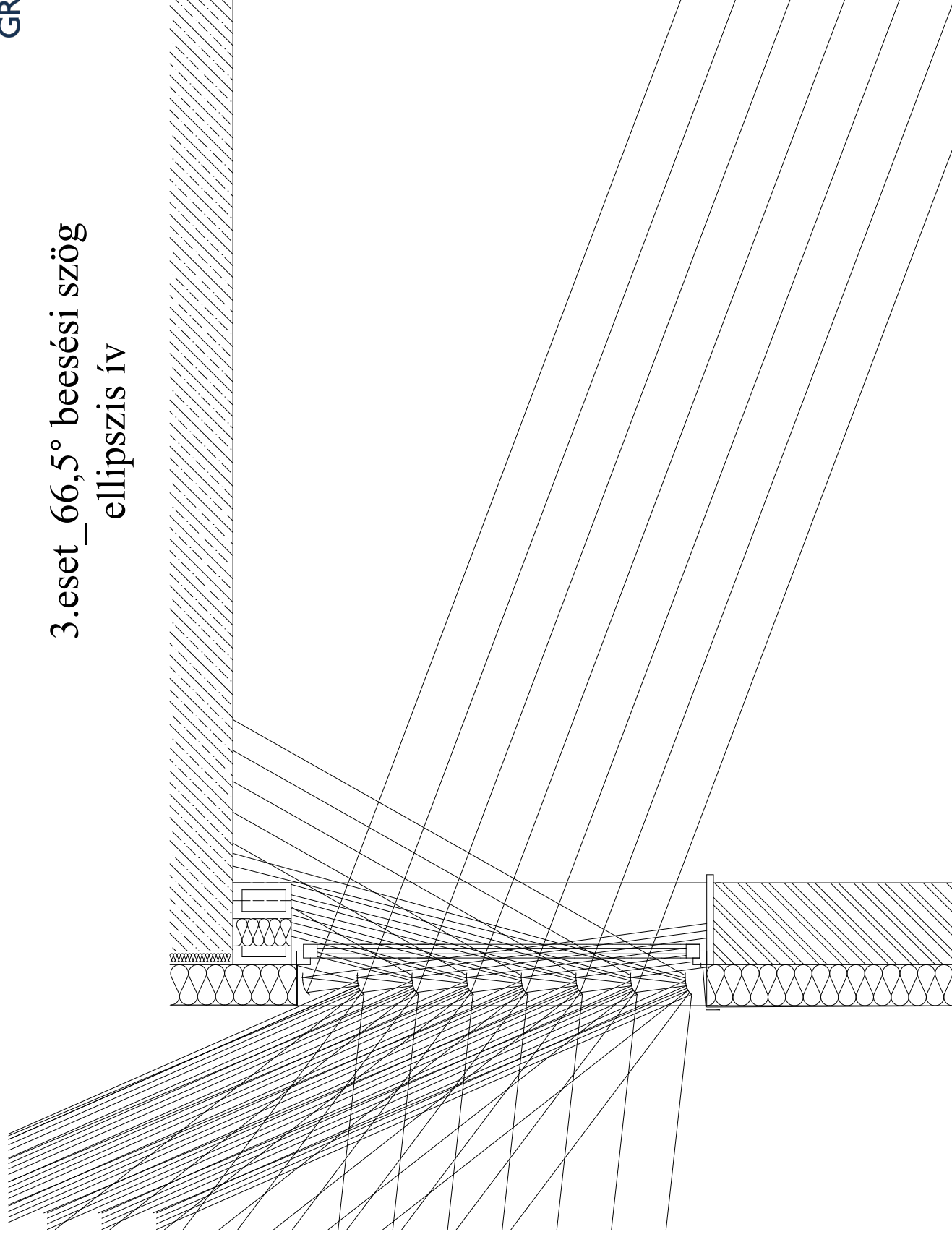
3.eset_19,5° beesési szög
ellipszis ív



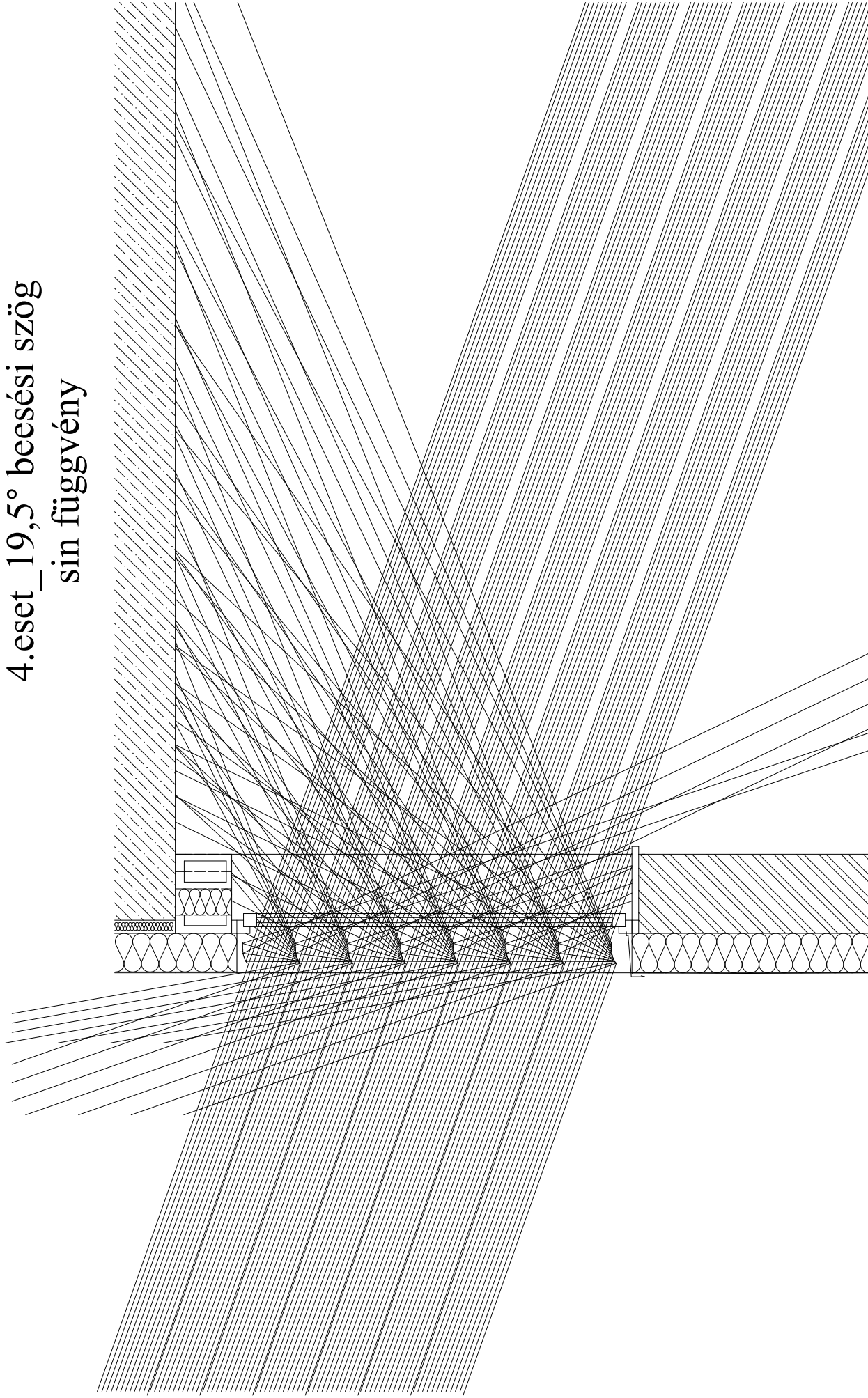
3.eset_43° beesési szög
ellipszis ív



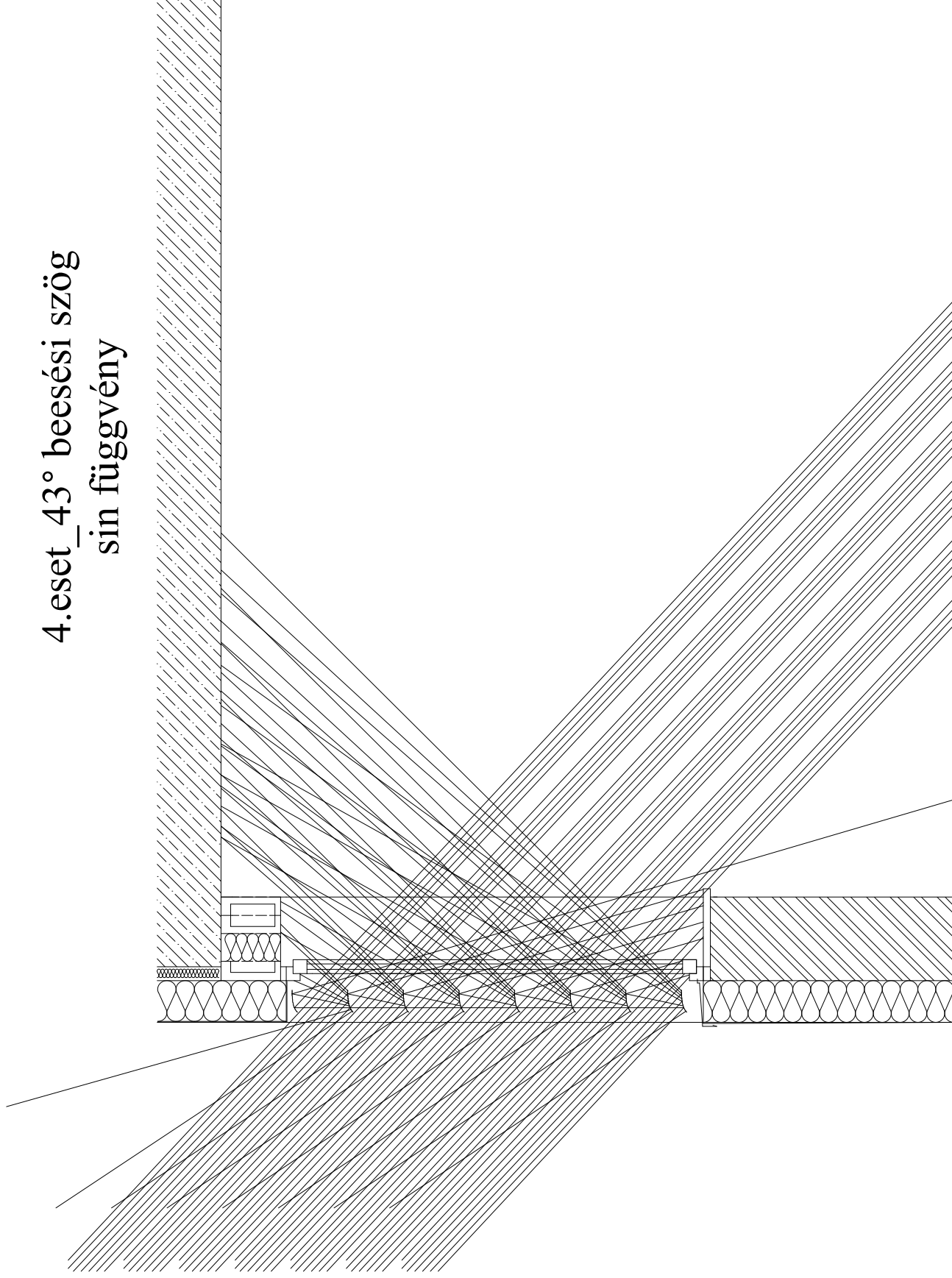
3.eset_66,5° beesési szög
ellipszis ív



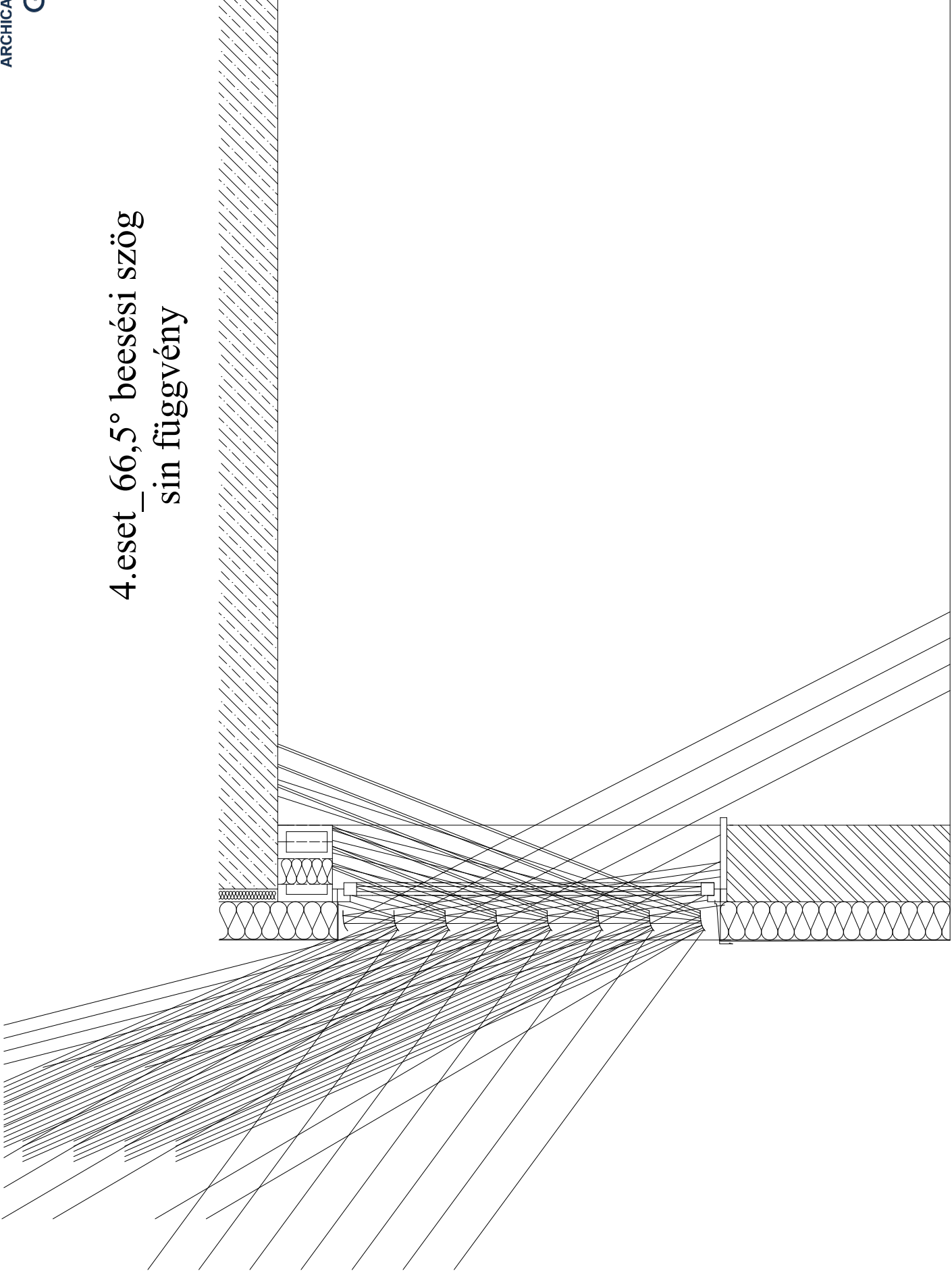
4.eset_19,5° beesési szög sin függvény



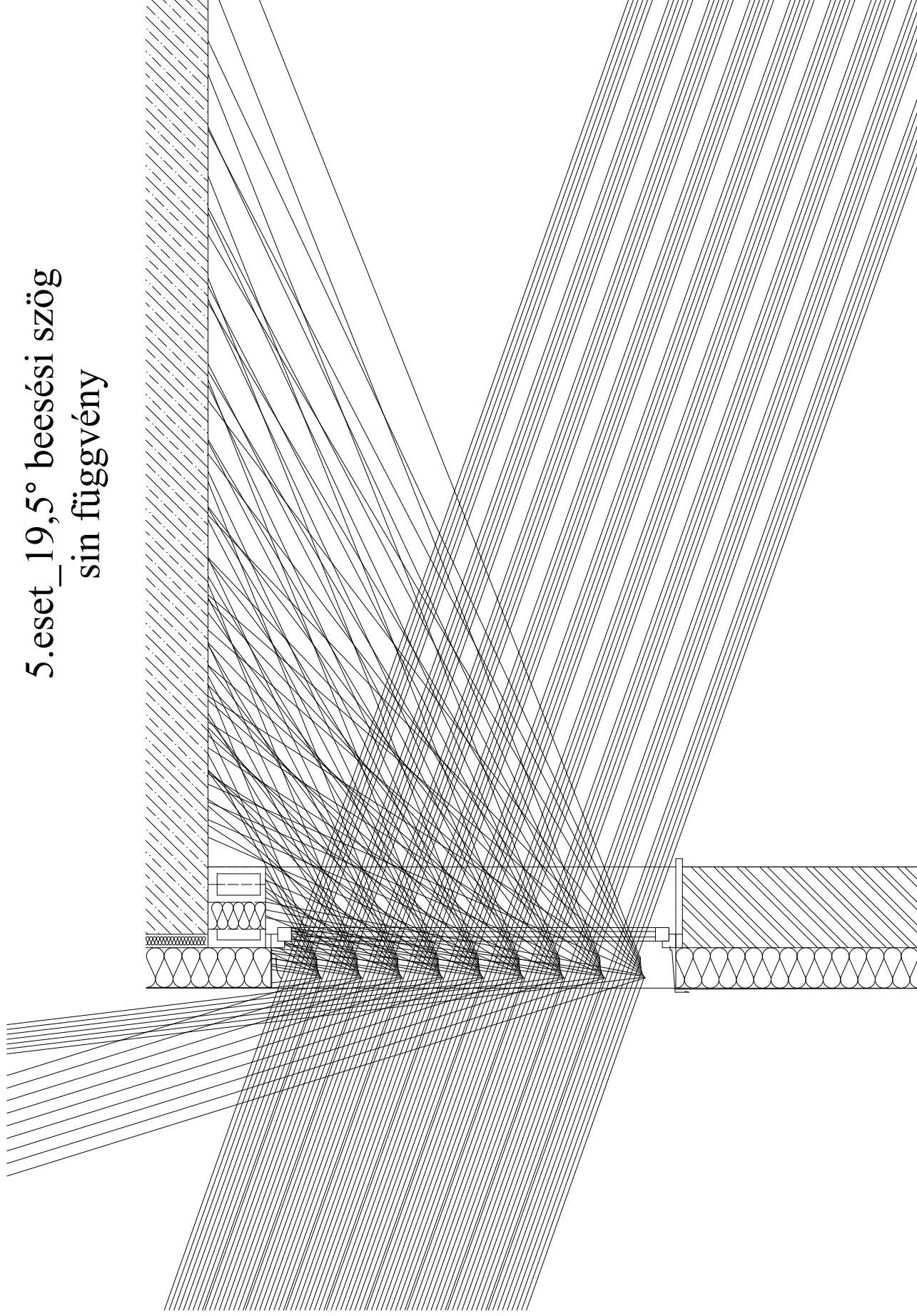
4.eset_43° beesési szög sin függvény



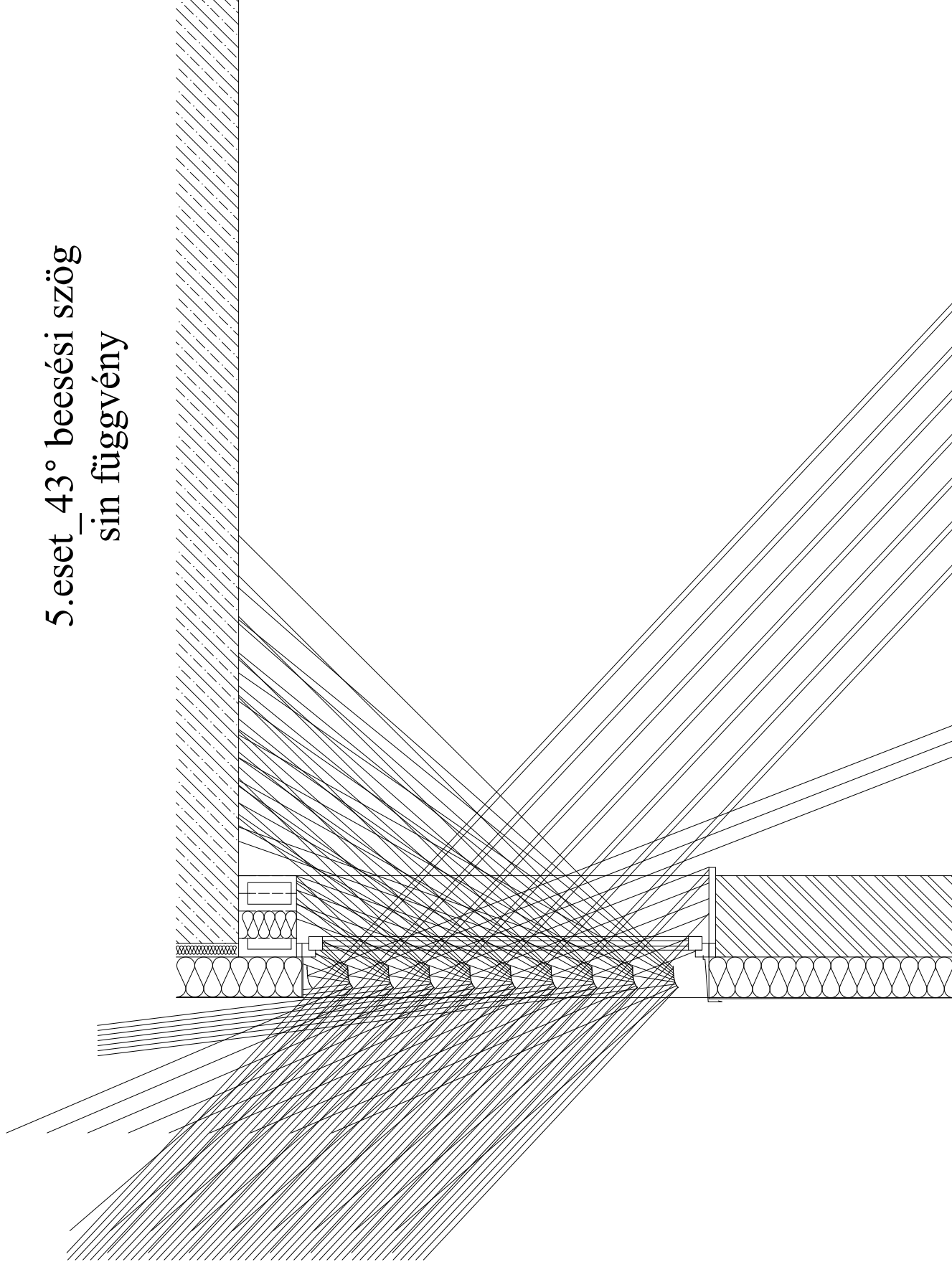
4.eset_66,5° beesési szög
sin függvény



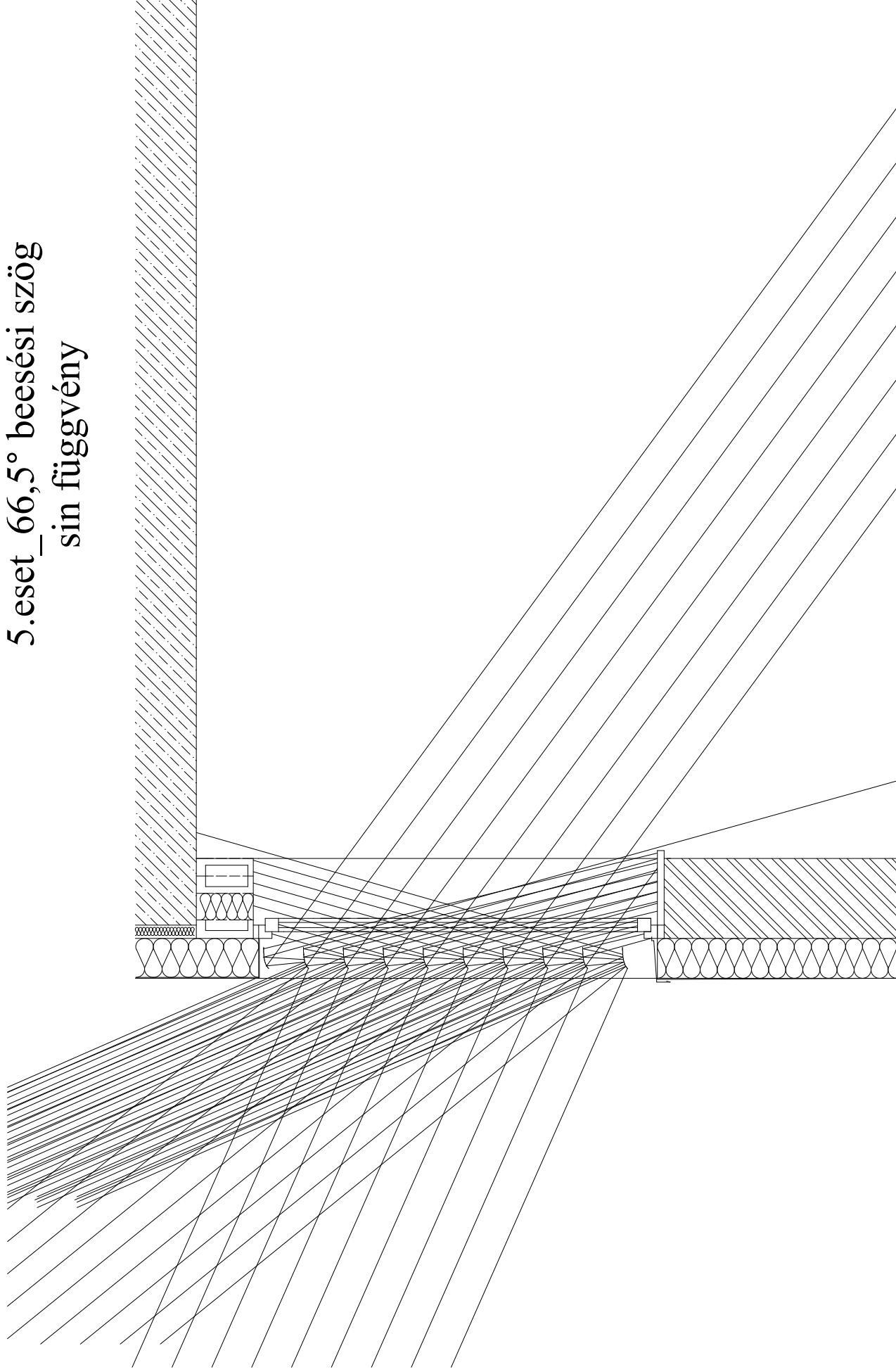
5.eset_19,5° beesési szög sin függvény



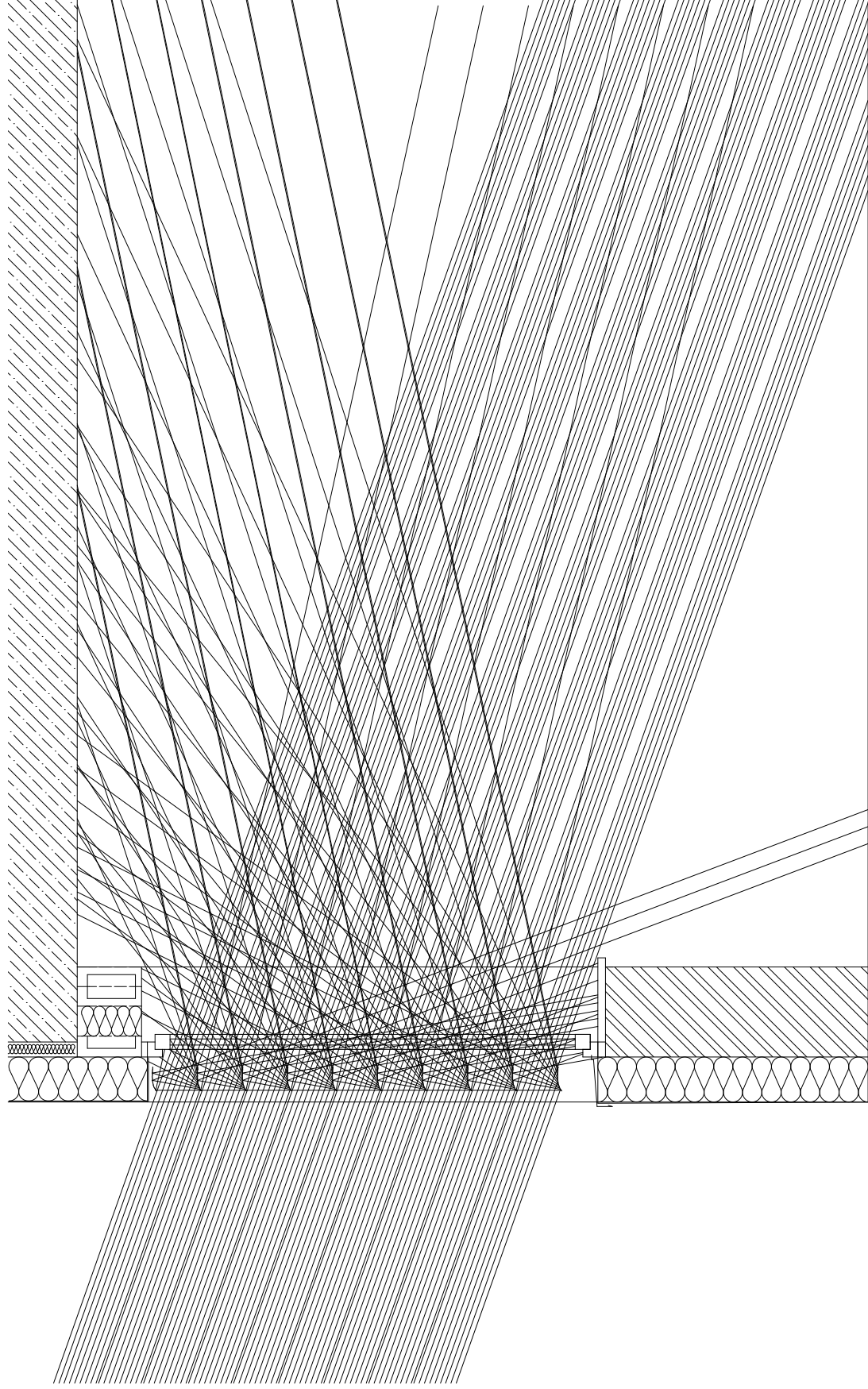
5.eset 43° beesési szög sin függvény



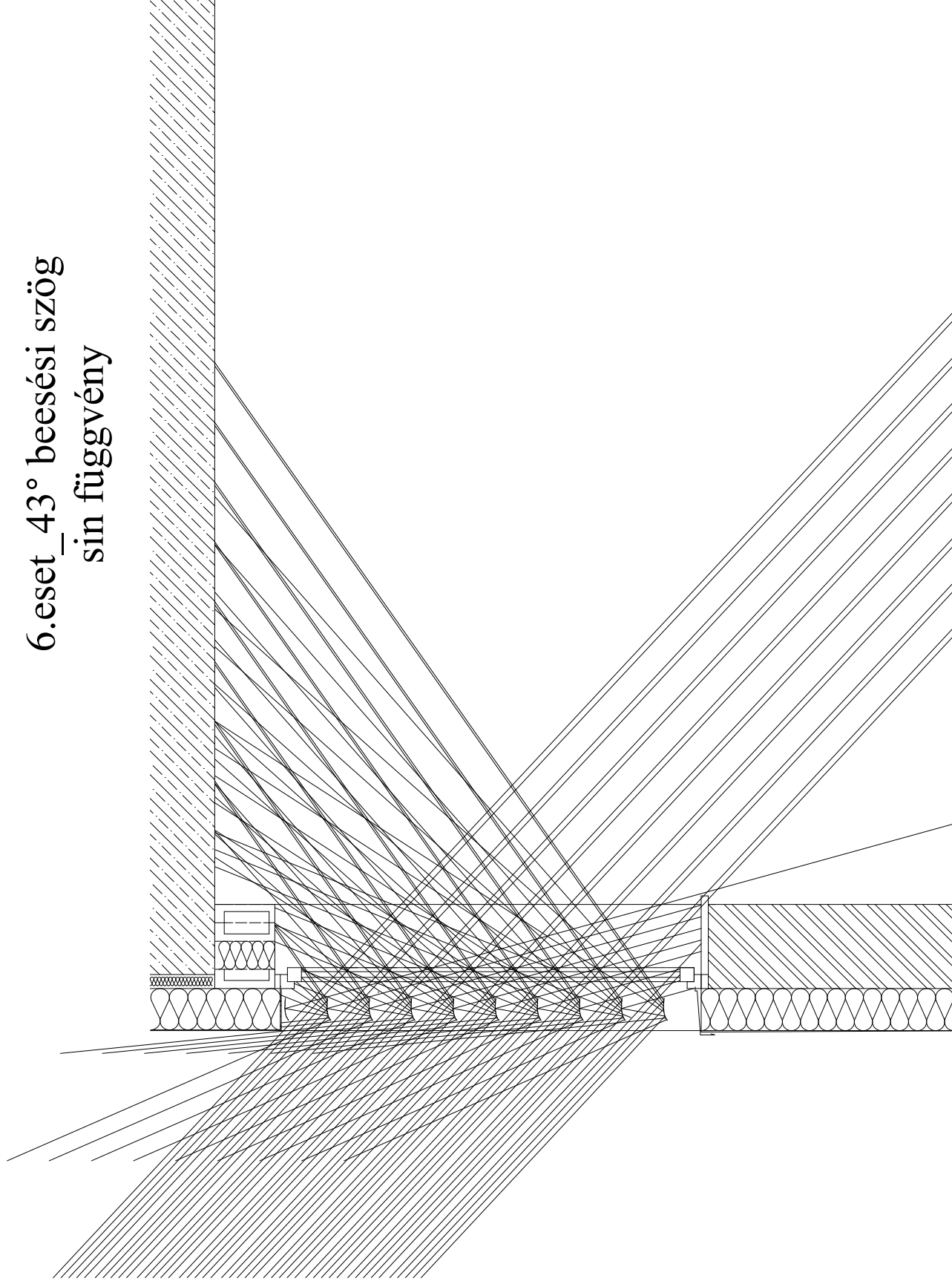
5.eset_66,5° beesési szög sin függvény



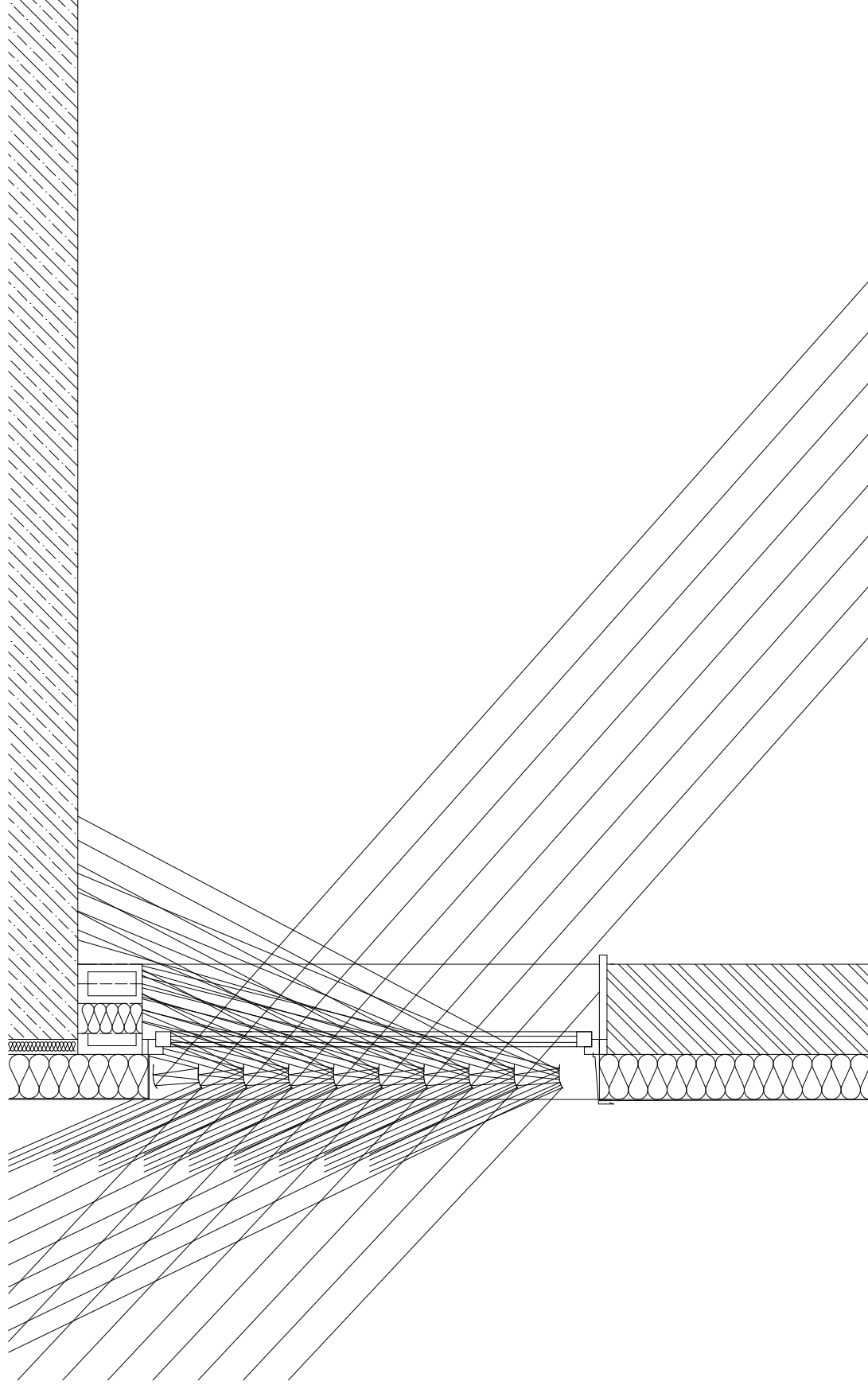
6.eset_19,5° beesési szög
sin függvény



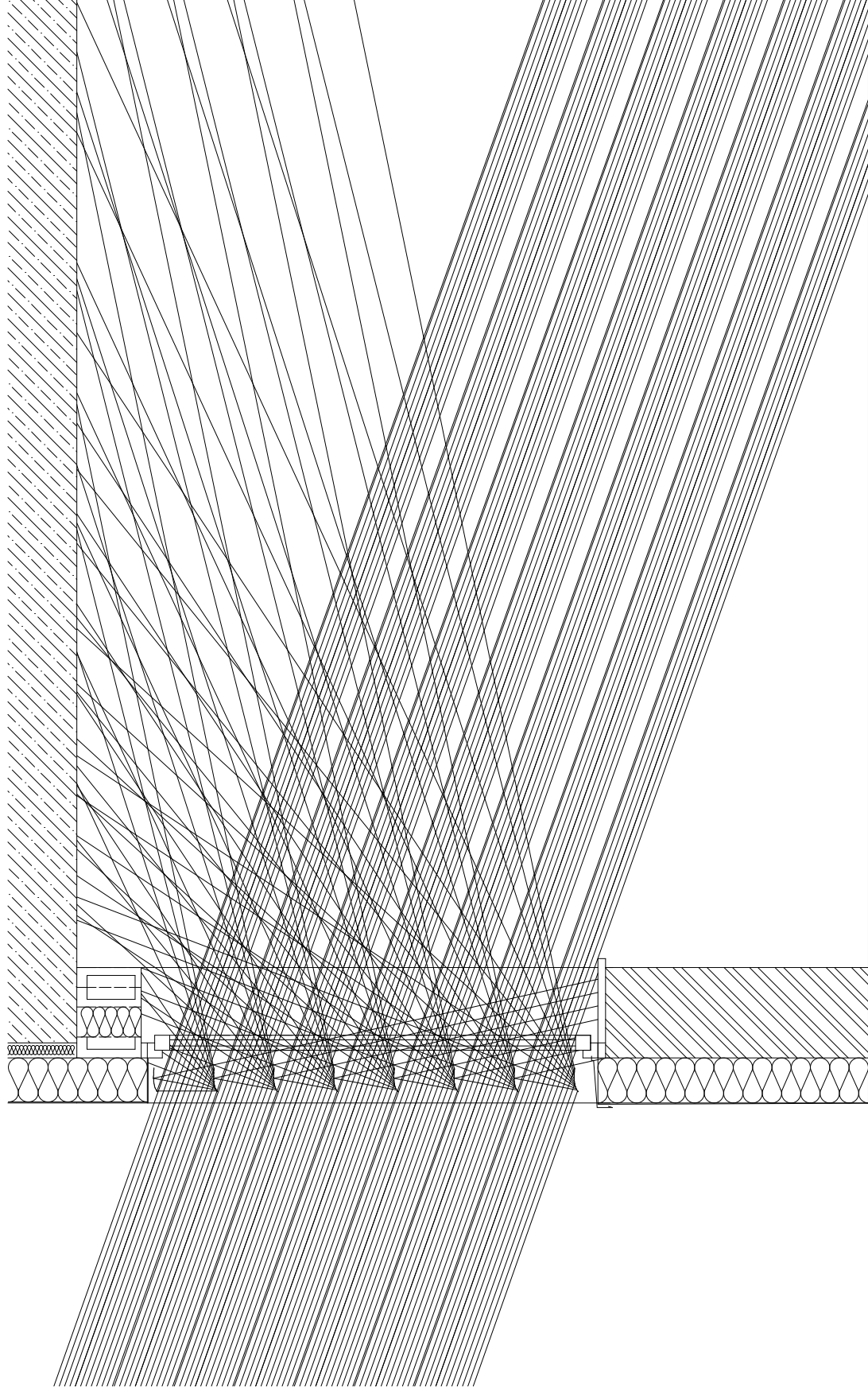
6.eset_43° beesési szög
sin függvény



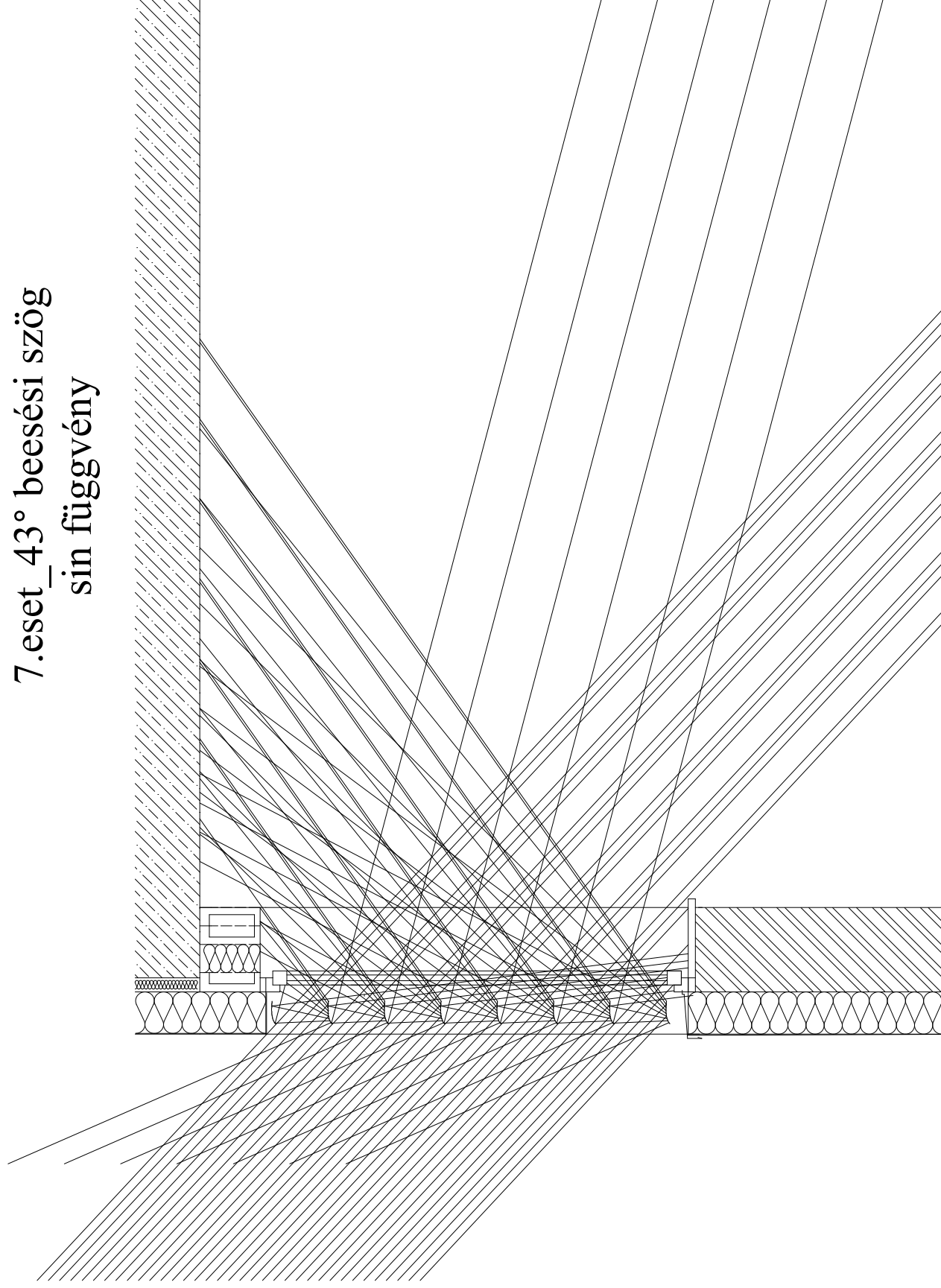
6.eset_66,5° beesési szög
sin függvény



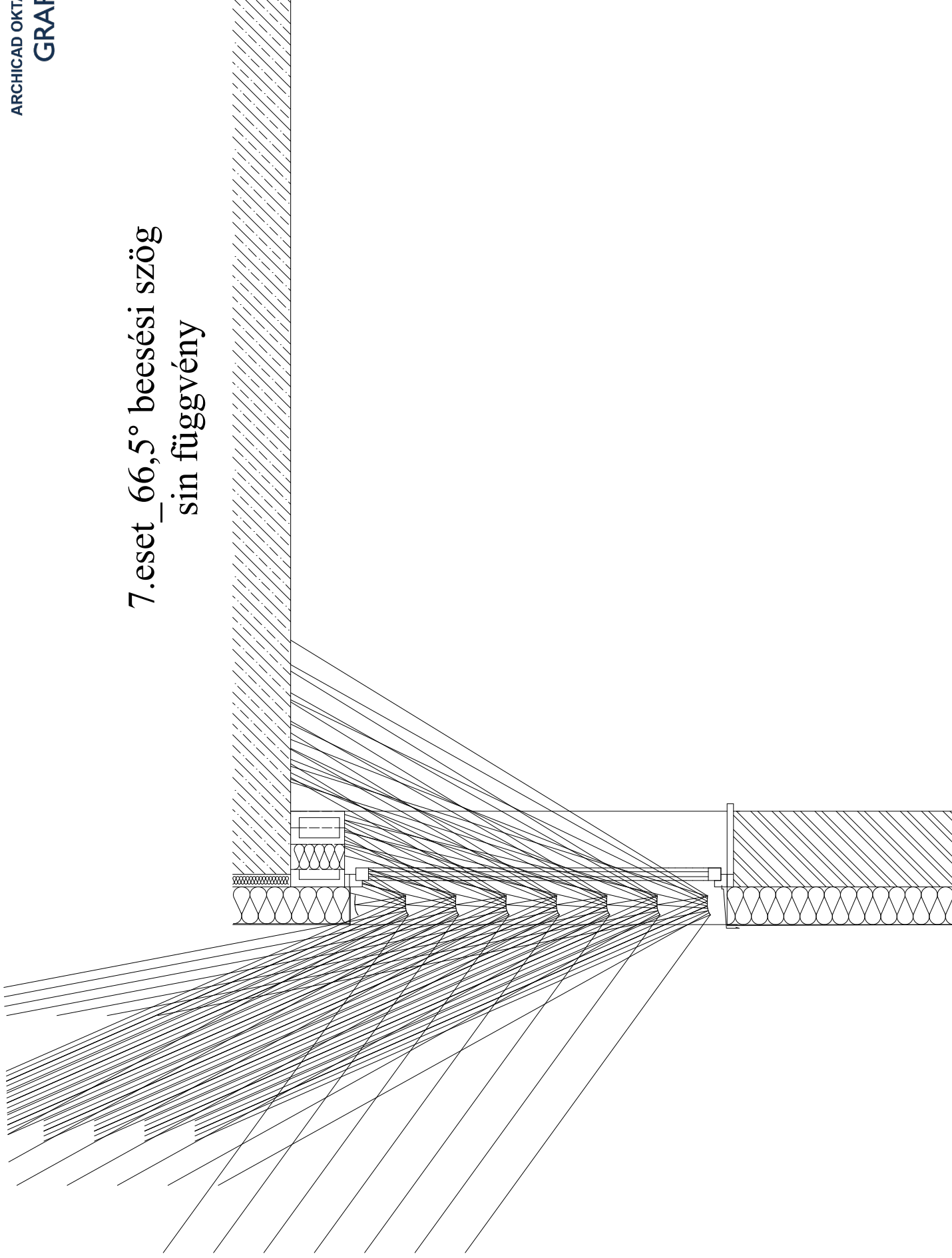
7.eset_19,5° beesési szög sin függvény



7.eset_43° beesési szög
sin függvény



7.eset_66,5° beesési szög sin függvény



JAVASLAT AZ ÁRNYÉKOLÓ BEÉPÍTÉSÉRE

