

Innovatív megoldások elterjedése a fenntartható építkezés jegyében

Kézikönyv

5

Energiatudatos építészet - passzív megoldások



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

5

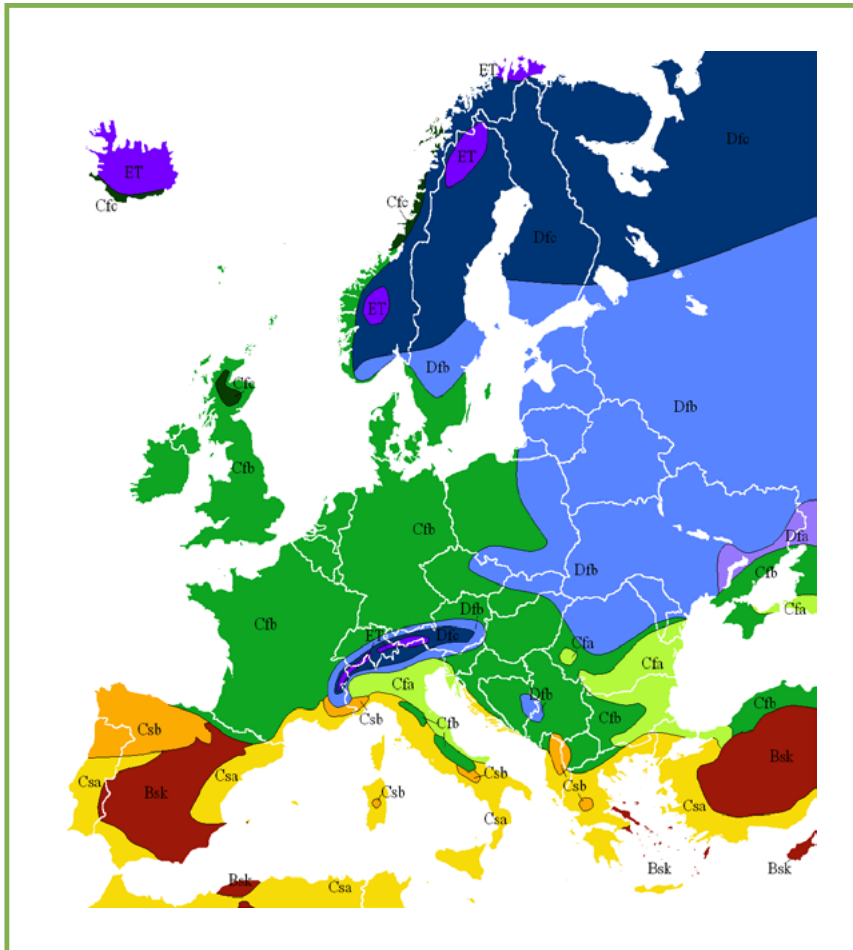
Energiatudatos építészet - passzív megoldások

Az épület fűtési és hűtési energiaigényét passzív megoldásokkal lehet csökkenteni. Az aktív módszerekkel ellentétben ezekhez csak magukra az épületszerkezetre és a nap energiájára van szükség, további energiaforrások használatára nem. Általánosan elfogadott megközelítés, hogy az alacsony energiafelhasználású épületek felé az első lépés az energiahatékonyság, mivel a „megtakarított energia a legolcsóbb energia”. Csak akkor érdemes aktív megújuló energia hasznosító rendszereket telepíteni, ha az energiaigényt már passzív eszközökkel csökkentettük.

A teljes életciklusra nézve a passzív megoldások előnye az is, hogy ezek „beépített” – az anyagok kitermelése és gyártása által okozott – környezeti hatása általában nagyon alacsony vagy akár nulla is lehet, miközben az épület üzemeltetési energiaigényt jelentősen csökkentik. Például a kompakt épületforma vagy a jól megválasztott tájolás nem növeli a beépített környezeti hatást, és hőszigetelésnek is viszonylag csekély hatása van (további információért lsd. a 4.3 fejezetet).

A passzív megoldások alkalmazhatósága az éghajlattól függ. Számos különböző éghajlati osztályozási rendszer létezik, de a továbbiakban egy egyszerű, Európára vonatkozó csoportosítást fogunk használni, amely a fűtés vagy a hűtés szükségességétől függ:

- Hideg éghajlat, ahol a fűtési energiaigény dominál, pl. Finnország
- Mérsékelt éghajlat, ahol fűtés és hűtés is szükséges lehet, pl. Magyarország
- Meleg éghajlat, ahol a hűtési energiaigény dominál, pl. Olaszország déli része



10. ábra: Európa Köppen-Geiger féle éghajlati osztályozása⁴⁰

A passzív fűtési megoldások hatékonyak a hideg éghajlaton, a passzív hűtés a meleg éghajlaton, és mindkettő alkalmazható a mérsékelt éghajlaton.

5.1 Az épület hőmérlege

Az épület hőmérlege alapvetően a hőveszteségek és a hőnyereségek arányától függ. A bent tartózkodók jó komfortérzete érdekében az épületben egy bizonyos hőmérsékletet szeretnénk tartani. Ha a hőveszteség megegyezik a hőnyereséggel, akkor nincs szükség fűtésre. Ha azonban a veszteség meghaladja a nyereséget, a fűtési rendszerrel kell biztosítani a hiányzó energiát.

40 Forrás: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Climates_of_Europe.png

Hőnyeresége minden épületnek van. Mivel a hőnyereség fedezi a hőveszteségek bizonyos hányadát, ezért nem kell azonnal bekapcsolnunk a fűtési rendszert, ha a napi átlagos külső hőmérséklet 20 °C alá csökken. Például egy átlagos magyarországi épületben a legtöbb fűtési rendszer akkor kezd működni, amikor a külső hőmérséklet átlaga három egymást követő napon 12 °C alá süllyed. Ez általában október közepe táján szokott megtörténni. A 20 és 12 °C közötti hőmérséklet különbséget a napsugárzás és a belső nyereségek fedezik. Egy jól megtervezett alacsony energiaigényű épületben a hőnyereség a veszteségek jóval nagyobb hányadát képes fedezni, ami rövidebb fűtési idényhez és alacsonyabb fűtési energiaigényhez vezet. Ez kettős stratégiával érhető el: a hőveszteségek csökkentésével és a napenergia hasznosítás növelésével. Mindkettő fontos az energiatudatos épületek tervezésében.

Az épület hőmérlege

A fűtés esetét vizsgálva a hőveszteségek a transzmisszióból és a szellőzésből származnak, míg az egyenleg pozitív oldala a napsugárzás és a belső hőnyereségek összege:

- A transzmissziós veszteségek az épületet határoló szerkezeteken és a hőhidakon keresztül hővezetéssel és hőátadással kialakuló veszteségek.
- A szellőzési veszteségeket a meleg belső és a hidegebb külső levegő cseréje okozza, ami a belső tér friss levegő igénye miatt szükséges.
- A szoláris hőnyereség a napsugárzásból származik, amely elsősorban a transzparens szerkezeteken keresztül jut az épületbe.
- A belső hőnyereség a belső hőforrások, például emberek, készülékek és berendezések által leadott hő, melyek elsődleges funkciója nem a fűtés.
- Ezen túlmenően a pillanatnyi hőegyensúlyt befolyásolja az épületszerkezetek tömegében eltárolt hő változása: a szerkezetek a hőt vagy elnyelik, vagy kibocsájtják, a körülményektől függően. Hosszabb távon a tárolt hő változása nulla, ha a változások periodikusak (pl. napi átlagban).
- Amennyiben a veszteségek meghaladják a nyereségeket, a fűtési rendszer adja le a hiányzó energiát.

A hőmérleg ezen összetevők algebrai összege.

5.2 Passzív fűtési megoldások

A passzív fűtési megoldások csökkentik a fűtési energiaigényt, ami különösen fontos a hideg éghajlaton. Ezen az éghajlaton régebben a „védekező”, defenzív stratégiák érvényesültek: a hőveszteségek csökkentése volt a fő szempont, például jellemzően kis méretű ablakokat építettek. Az energiatakarékosság fontosságának felismerése és az üvegezés gyors technológiai fejlődése vezetett az elmúlt évtizedekben a „szoláris építészett” megjelenéséhez: az épületeket úgy tervezik, hogy nagy, jól tájolt üvegezett homlokzatuk és nehéz, hőtárolásra alkalmas tömegük révén minél nagyobb mértékben hasznosítsák a Nap energiáját. Míg Európában egy átlagos hagyományos épület fűtési energiaigénye körülbelül 200 kWh/m² évente, az alacsony energia felhasználású épületek esetén ez az érték 50-70 kWh/m²év körül van, és egy rendkívül alacsony energiafelhasználású épületnél (passzívház) akár 15 kWh/m²év is lehet⁴¹. A fűtési energiaigény mérséklésének stratégiáit, a hőveszteségek csökkentésének és a hőnyereség növelésének lehetőségeit a következő szakaszok foglalják össze.

11. ábra: A népi építészetben hagyományosan kis ablakokat építettek⁴²



41 https://passiv.de/former_conferences/Passivhaus_D/Aufsatz_Passivhaus_1997.htm (utolsó látogatás 2021 április)

42 Forrás: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Szal_paraszth%C3%A1z%2Budvar.jpg (utolsó látogatás 2021 április)

a. A hőveszteségek csökkentése

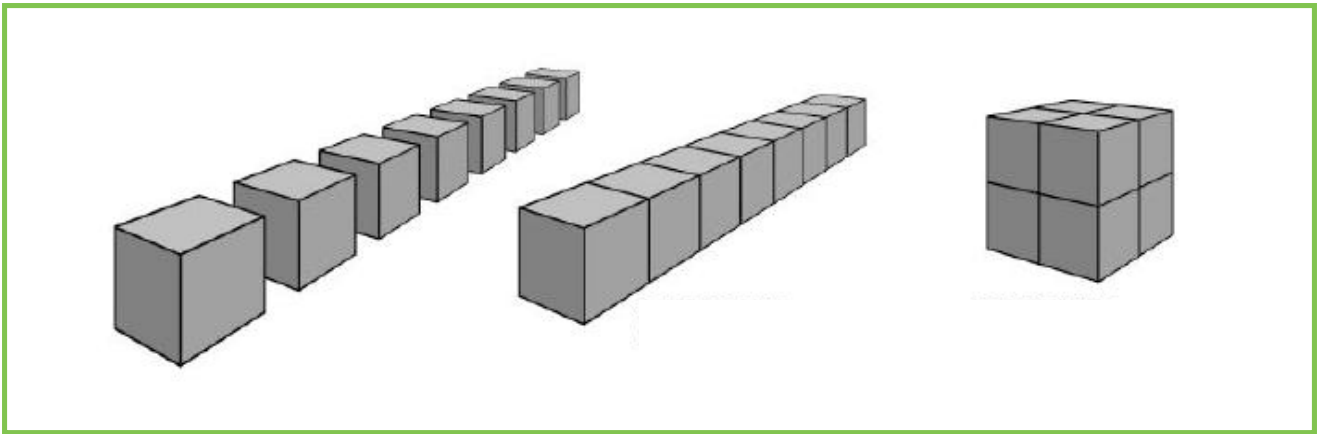
A hőveszteség csökkentésének legfontosabb eszközei a kompakt forma, a jó hőszigetelés és a légzáró épületburok. Ezen kívül fontos megemlíteni egy nagyon egyszerű, de hatékony módszert, ami nem az épület kialakításán, hanem a használati szokásokon múlik: ne állítsunk be túl magas belső hőmérsékletet. A belső hőmérséklet egy fokos csökkentése kb. 6-10%-os fűtési energiamegtakarítást eredményez egy átlagos épületben a mérsékelt éghajlaton⁴³. Ugyanakkor természetesen fontos, hogy a megfelelő hőkomfortot is biztosítsuk, tehát a túl alacsony hőmérséklet sem kedvező.

Az épület

Számít a forma. Az épület energetikai minősége nagyrészt eldől, amikor az építész az első vázlatokat megrajzolja. A kompakt formák hővesztesége alacsonyabb, mint a tagolt, bonyolult formáké. Az épület alakja jól jellemezhető az úgynevezett felület / térfogat aránnyal (A/V), azaz a belső teret a külső tértől elválasztó határoló szerkezetek összes felületének és az épület fűtött térfogatának arányával. A kisebb felület / térfogat arány kedvező, mivel egységnyi térfogatra kevesebb lehűlő felület jut. Ebből a szempontból az ideális épület gömb alakú lenne, de ez a gyakorlatban nem lenne túl praktikus. Megfelelőek viszont a kevésbé tagolt négyszögletes épületek is. Kerülni kell azonban a nagyon mély alaprajzokat, mivel az így kialakuló belső terekben a természetes fény és szellőzés korlátozott. Közép-Európában például a napsugárzás télen maximum kb. 6 méter mélységig tud behatolni⁴⁴. A kissé hosszúkás, hasáb alakú formák jól működnek mind a hőveszteség, mind a napenergia nyereség szempontjából.

43 <https://www.energy.gov/energysaver/thermostats> (utolsó látogatás 2021. április)

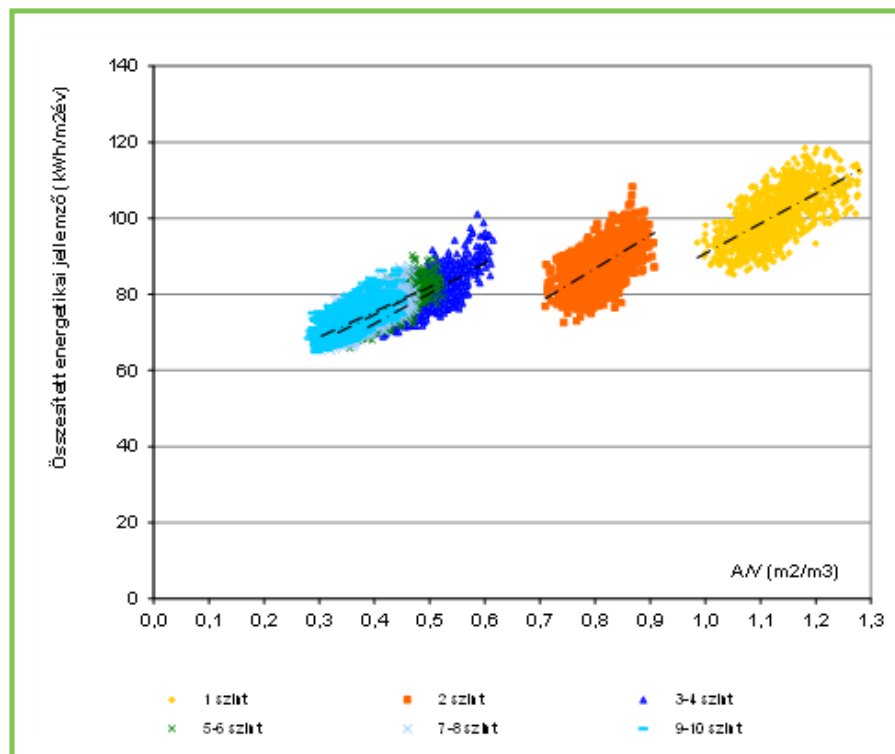
44 Zöld, András; Szalay, Zsuzsa; Csoknyai, Tamás: Energiatudatos építészet 2.0



12. ábra: Az első esethez képest a második elrendezésnek azonos a térfogata, de 29%-kal kisebb a felülete, míg a harmadiknak 50%-kal kisebb a felülete

Számít a méret. Az épület méretének növekedésével a határoló felület négyzetesen növekszik, a térfogat viszont köbösen, ezért a nagyobb épületek felület / térfogat aránya alacsonyabb. Ez azt jelenti, hogy egy nagy társasház fűtési energiaigénye fajlagosan, 1 m^2 alapterületre vetítve sokkal kisebb, mint az azonos hőszigetelésű családi házé! A lenti ábra egy nagy épületminta fajlagos (primer) energiaigényét mutatja, ahol minden egyes pont egy-egy épületet jelöl. A mintában szereplő minden épület esetén azonos a hőszigetelési szint, a hőhidak, a légtömörség és az épületgépészeti rendszerek, az egyetlen különbség az épület mérete és alakja. Az egyszintes épületeket ábrázoló sárga pontok átlagos energiaigénye 100, míg a nagy, 10 szintes épületek energiaigénye $75 \text{ kWh/m}^2/\text{év}$ körül van. Nagy különbségek vannak egy kategórián belül is: egy kompakt családi ház energiaigénye körülbelül $20 \text{ kWh/m}^2/\text{év}$ -vel kevesebb, mint egy nagyon tagolt formájúé.

13. ábra: Azonos hőszigetelésű, de különböző szintszámú és alakú épületek összesített primer energia fogyasztása ⁴⁵



Számít a térkihasználás. A tér hatékony kihasználása szintén hozzájárul az energiatakarékossághoz. Akármennyire is kompakt és jól hőszigetelt egy épület, a feleslegesen túlméretezett terek energia pazarláshoz vezetnek. Érdeemes először végiggondolni a család valós igényeit, amikor a ház méretéről döntünk. Ez egy komplex kérdés, és sok további szempontot kell mérlegelni (szociális kérdések, szubjektív szempontok). Az épület mérete befolyásolja az elfoglalt területet is, ami szintén egy környezeti indikátor.

Számít a tájolás. Az épület tájolásánál figyelembe kell venni az uralkodó szélirányt és a napenergia hasznosítási lehetőségeket (lásd 5.2.b fejezet). Az alaprajz kialakításánál és a helyiségek elrendezésénél vegyük figyelembe a tájolást: érdemes az olyan helyiségeket, ahol az alacsonyabb hőmérséklet elfogadható vagy akár kívánatos is (például tároló, kamra vagy WC) pufferzónaként az északi oldalra helyezni, míg a nappalit és a lakószobákat a déli oldalon a nap felé nyitni. Mérsékelt éghajlaton megfontolható két terasz vagy erkély kialakítása, az egyiket délre, a másikat északra tájolva, melyek közül valamelyik a nyári melegben és az átmeneti időszakban is jól használható.

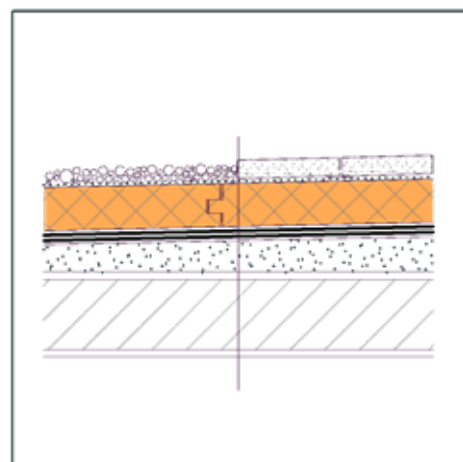
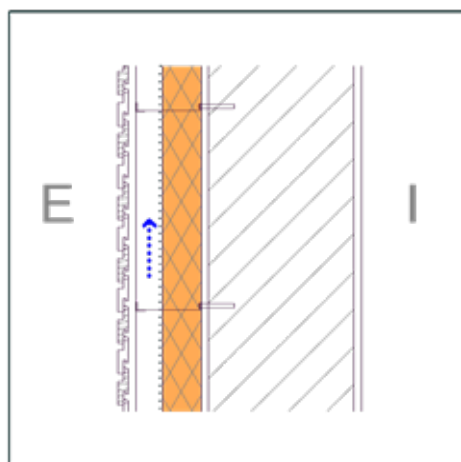
Hőszigetelés

Egy épület transzmissziós hőveszteségét a leghatékonyabban fokozott hőszigetelés alkalmazásával lehet csökkenteni. Bár a hőszigetelő anyagok gyártása is energiafelhasználással és emissziókkal jár, a „környezeti” megtérülés a tipikus anyagok esetén jellemzően rövid, azaz az energia megtakarítás néhány év alatt meghaladja az előállítás által okozott környezetterhelést (ld. 4.3 fejezet). A hőszigetelés amellett, hogy energiamegtakarítást eredményez, jó hőérzetet is biztosít és védi az épület szerkezetét. A hőszigetelés pozitív járulékos mellékhatása, hogy a szerkezetek belső felületének hőmérséklete magasabb lesz, mint egy rosszul szigetelt épületben. Ez befolyásolja az úgynevezett operatív hőmérsékletet, amely a belső léghőmérséklet és a teret határoló felületek sugárzási hőmérsékletének az eredője. Ez az a hőmérséklet, amelyet az emberek ténylegesen éreznek és alapvetően ez határozza meg a komfortérzetet. Mivel egy jól hőszigetelt épületben a felületek hőmérséklete magas, alacsonyabbra szabályozott levegőhőmérséklet mellett is jó hőkomfortot lehet biztosítani, ami további energiamegtakarítást eredményez.



14. ábra: Cellulóz hőszigetelés fújása a padlástérbe

15. ábra:
Külső fal és
lapostető
hőszigetelése⁴⁶



A hőátbocsátási tényező (U-érték) megmutatja, hogy mennyi hő jut át 1 m^2 épületszerkezeten keresztül egységnyi idő alatt, ha a két határoló felület között egységnyi hőmérséklet különbség van. Mértékegysége $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ (azaz $(\text{J}/\text{s})/(\text{m}^2\text{K})$). Minél alacsonyabb az U-érték, annál jobb a hőszigetelő képesség. A tipikus számszerű értékek meglehetősen alacsonyak: az $1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ vagy ennél magasabb U-érték rosszul szigetelt szerkezetet jelez, míg a jól szigetelt szerkezetekre a $0,1-0,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ körüli értékek jellemzőek. Magyarországon például az új külső falak maximális U-értékének $0,24 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ alatt kell lennie, ami kb. 14-16 cm hőszigetelésnek felel meg átlagos hőszigetelő anyag alkalmazása esetén. A legszigorúbb követelmények a tetőkre és a külső falakra vonatkoznak. A pincefödémbe vagy a padlóba kisebb hőszigetelés is megfelelő, mivel ezek a szerkezetek a külső levegőhöz képest melegebb térrel (a pincével vagy a talajjal) határosak.

Az épületszerkezetek szigetelési képességének nagyon fontos mutatója az úgynevezett U-érték vagy hőátbocsátási tényező.

Az ablakok hőátbocsátási tényezője általában magasabb, mint a tömör épületszerkezeteké (új ablakok esetén $0,7-1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Nem szabad azonban megfedkezünk arról, hogy az ablakok nemcsak a hőveszteségekhez, hanem a hőnyereségekhez is hozzájárulnak: az üvegezés átereszti a napenergiát és ez csökkenti a fűtési energiaigényt (lásd 5.2.b fejezet). Például Magyarországon egy déli tájolású ablak teljes téli energiamérlege pozitív, azaz az üvegezésen keresztül több napsugárzási energiát ereszt át, mint az összes hővesztesége a fűtési szezonban. Az ablak kiválasztásakor ügyelni kell arra, hogy sok gyártó csak az üvegezés U-értékét adja meg, amely általában jobb, mint a keret U-értéke. A teljes ablak U-értéke a keret és az üvegezés felülettel súlyozott átlaga. Hideg éghajlaton háromrétegű, speciális bevonatú és gáztöltésű ablakok szükségesek, míg a meleg éghajlaton kétrétegű üvegezés is elegendő lehet.

16. ábra: Fa ablakok két- vagy háromrétegű üvegezéssel



Hőhidak

A felületek hőszigetelése nagyon fontos, de emellett különös figyelmet kell fordítani az épület részleteire is. Hőhidaknak nevezzük azokat az épületburok azon részeit, ahol az általános felülethez képest többlet hőveszteség alakul ki. Gondoljunk a legegyszerűbb hőhídra, amely minden épületben jelen van: a falsarokra. Amikor belülről nézzük a falsarkot, csak egy vonalat látunk. Kívülről nézve ehhez a vonalhoz egy nagy lehűlő felület tartozik, ezért a vonalmenti hőveszteség sokkal nagyobb, mint a zavartalan felületen. Ez a

típusú, ún. geometriai hőhid természetesen minden épületben előfordul, nem lehet elkerülni. Más típusú hőhidak az anyaghasználat változása miatti hőhidak, például a téglafalba beépített teherbíró vasbeton pillérek vagy a vasbeton födém szélének, a koszorúnak a csatlakozása a téglafalhoz. A magastetőben a hőszigetelést megszakító fa szarufák is hőhidak jelentenek, ugyanis bár a fa viszonylag jó hőszigetelő anyagnak számít, a hőszigeteléssel összehasonlítva hőszigetelő képessége körülbelül háromszor rosszabb. Fontos, hogy az ilyen típusú



hőhidakat lehetőség szerint igyekezzünk kerülni vagy kiegészítő hőszigeteléssel lássuk el, így csökkentve a hőveszteségeket és növelve a belső felületi hőmérsékletet. Ha a belső felületi hőmérséklet kritikus érték alá csökken, akkor a kondenzáció és a penész növekedésének kockázata jelentősen megnő.

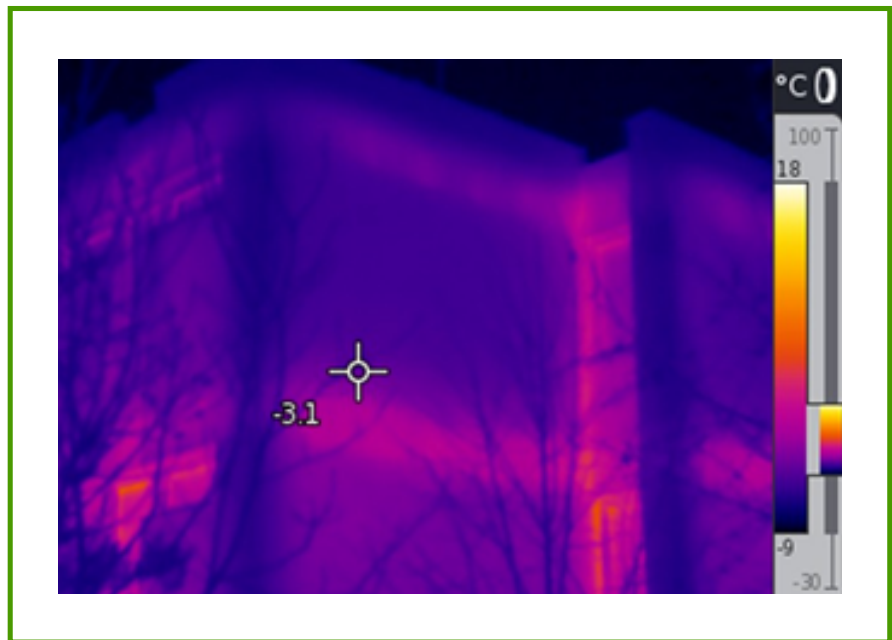
*17. ábra: Penészképződés ablakcsere után a hőhidak és az elégtelen szellőzés következtében*⁴⁷

A hőhidak kezelése különösen nagy kihívást jelent meglévő épületek felújítása esetén, mivel bizonyos épületszerkezetek és

csomópontok hőszigetelése gyakran nehézségekbe ütközik. Például a talajon fekvő padló hőszigetelése azt jelentené, hogy a padló szerkezetet teljesen újra kellene építeni, és a belső padlóvonal szintjének változása minden csatlakozó szerkezetet érint. Egyszerűbben kialakítható a lábazat mentén a föld alá vezetett hőszigetelés, amely szintén hatékonyan csökkenti a talaj felé irányuló hőveszteségeket, de ez is sok földmunkával jár.

A hőszigetelő réteg viszonylag kis hiányossága is jelentős hőveszteséghez vezethet. Például a homlokzat hőszigetelésénél az ablakok körül be kell fordítani a hőszigetelést, mivel ennek elhagyása nagyon nagy hőhidat okozna. Hőhidasság szempontjából a legjobb megoldás az, ha az ablakokat vagy a hőszigetelés síkjába vagy közvetlenül mögé, a hőszigeteléssel takarva helyezzük el. Termovíziós vizsgálatok segítségével ellenőrizhető a hőszigetelő réteg hiányossága és meghatározhatóak a burok gyengébb pontjai.

18. ábra: A hőhidak
termovíziós
vizsgálatokkal
feltárhatóak⁴⁸



Légzárás

Az embereknek biológiai okokból szükségük van friss levegőre. Fontos azonban megkülönböztetni a szellőzést és a filtrációt. A szellőzés a szagok és szennyeződések eltávolítására irányuló akaratlagos légcseré, amely az ablakok kinyitásával vagy mechanikus szellőzőrendszerrel biztosítható. A filtráció viszont az épületburok tömítetlenségén, hézagain át létrejövő nem kívánatos légmozgás, mely nem szabályozható. A filtráció minimalizálása érdekében az épületburkot légzáró módon kell kialakítani.

Ökölszabályként a „ceruzaszabály” alkalmazható: ha az épület keresztmetszeti rajzát nézzük, a légzárás vonalát végig kell tudnunk követni a ceruzánk felemelése nélkül. A légzáróság könnyebben teljesíthető a téglá- vagy beton falazattal rendelkező épületekben, ahol a belső vakolat adja a légzárást. Könnyű szerkezetekben, például favázis falakban vagy magastetőben szükséges a lég- és párazáró fóliákat beépítése. Itt is különös figyelmet kell fordítani a részletekre: még a kis lyukak is, például a dugaljak vagy a csővezetékek áttörése is nagy légcserét okozhat. Ezek a rések keresztül a nedves belső levegő bejuthat a szerkezetbe, és ott kicsapódva súlyos károkhoz vezethet. Míg a modern ablakok légtömörősége általában nagyon magas, az ablak és a fal csatlakozása tipikusan gyenge pont, melyet nem elég PUR-habbal tömíteni, hanem légzáró szalaggal is el kell zárni.

48 Forrás: Szalay Zsuzsa

A magas légtömörségű épületekben továbbra is szükséges a friss levegő biztosítása, de ez megtehető szabályozott módon. Ha a szellőzés ablaknyitáson keresztül történik, fontos, hogy a lakást naponta legalább kétszer vagy a használatától függően akár többször is jól szellőztessük át. A vizes helyiségekben érdemes páratartalom érzékelős légbevezető nyílásokat, az ablakba integrált résszellőzőket beépíteni, amelyek automatikusan kinyílnak, ha a páratartalom meghalad egy bizonyos szintet, a légmozgást pedig elszívó ventilátorral lehet beindítani. A szellőztetést mesterségesen is meg lehet oldani. Ennek az az előnye, hogy amennyiben hővisszanyerő egységet is beépítenek, a szellőzési hőveszteség jelentősen csökkenthető (ld. 6.1. fejezet).

Blower door teszt

Az épület légtömörségét az úgynevezett „blower door” teszttel lehet ellenőrizni, ahol egy ventilátor segítségével a külső és a belső tér között nyomáskülönbséget hoznak létre. Az 50 Pascal nyomáskülönbség melletti légcsereszám (ACH50 vagy n50) a ventilátor által mozgatott levegő térfogatáramából számítható. A régi épületek n50-es értéke meghaladhatja a 10 h^{-1} értéket, míg az átlagos új épületekre a 2-5 h^{-1} jellemző, de a passzívházakra vonatkozó szigorú követelmény 0,6 h^{-1} . A blower door teszt több országban kötelező új épületek esetén, a kivitelezés alatt elvégzett vizsgálattal ugyanis kiszűrhetőek az építési hibák.

b. A hőnyereségek növelése

A hőnyereség csökkenti a fűtési energiaigényt. A hőnyereség két fő típusa a napsugárzásból származó szoláris nyereség, illetve a használók, háztartási gépek, berendezések és világítás által leadott hőből származó belső hőnyereség. Mivel a berendezések üzemeltetése áramot fogyaszt, ezt nem szabad csak fűtési célokra pazarolni; érdemes jó hatásfokú, energiatakarékos gépeket választani. A napenergia viszont „ingyenes”, és jelentősen hozzájárulhat a fűtéshez.

Szoláris nyereségek

Minden ablakkal rendelkező épület passzív módon hasznosítja a napsugárzás energiáját. A szoláris nyereség természetesen függ a felület tájolásától. Az északi féltekén a déli tájolású, a szélességi körrel nagyjából megegyező dőlésszögű felületeken a legnagyobb a beeső napsugárzás. Például Magyarországon a déli tájolású, 45° -os dőlésű felületen a fűtési szezonban a teljes napsugárzási energiahozam körülbelül 450 kWh/m^2 , míg ez az érték a függőleges déli felületen 400 , kelet-nyugati felületen 200 és északi felületen 100 kWh/m^2 körül van. Mivel a fűtési szezonban egy déli tájolású korszerű ablak hőnyeresége meghaladja a hővesztését, a déli homlokzaton előnyös a nagy ablakarány, de a nyári túlmelegedés kockázatának csökkentése érdekében ügyelni kell a hatásos árnyékolásra (lásd 5.3.a fejezet).

Hőtároló tömeg

A hőtároló tömeg segíti az épületen belüli hőmérséklet ingadozások mérséklését, ami télen és nyáron is előnyös lehet. Télen a hőtároló tömeg napközben elnyeli a napsugárzást, ami később az éjszaka folyamán a hőmérséklet lehülésével felszabadul. A nagy hőtároló képesség a szoláris nyereség hatékonyabb hasznosítását eredményezi, fontos szerepet játszik a passzív szolár fűtési

Az üvegházhatás jelensége

Annak megértéséhez, hogy a napenergia hogyan járul hozzá a fűtéshez, emlékezzünk vissza először arra, hogy mi is az az üvegházhatás. A napsugárzás nagy részét a légkör átengedi, majd a Föld felszíne elnyeli. A felmelegedett földfelszín hő sugároz a világűr felé, de ennek egy részét a légkörben lévő üvegházhatású gázok nem engedik tovább és a visszatartott hőenergia melegíti a Földet. De miért is esik csapdába a hő? Az üvegházhatású gázok ugyanis áteresztik a napból érkező rövidhullámú sugárzás nagy részét, de az alacsonyabb hőmérsékletű földfelszín által kibocsátott hosszuhullámú sugárzás tartományban áteresztő képességük kisebb. Ugyanez a jelenség figyelhető meg kisebb léptékben egy épületben is: a napenergia nagy részét az üvegezés áteresztí, majd a helyiség belső felületei visszaverik, elnyelik és újból kisugározzák, amíg az egész helyiség fel nem melegedik. A napenergia csapdába esik a helyiségben, mivel az üvegezés az üvegházhatású gázokhoz hasonlóan nagyon magas áteresztő képességgel rendelkezik a rövidhullámú sugárzással szemben, de áteresztő képessége drámai módon csökken a hosszú hullámhossz tartományban, amelyet a szoba felülete sugároz. Az üvegezés sugárzásátbocsátási képességét a g -értékkel jellemezzük.

rendszerbe, illetve ennek köszönhetően alacsonyabb teljesítményű fűtési rendszer beépítése is elegendő lehet. Míg a folyamatosan használt épületekben előnyös, hátrányos lehet azonban például egy ritkán használt nyaralóban, mivel hosszabb ideig tart a szerkezetek felmelegítése. A hőtároló tömeg fontosságát nyári körülmények között az 5.2 fejezet írja le.

A hőtároló tömeg az építőanyagok testsűrűségének és fajhőjének függvénye. A 'nehéz' anyagok, mint például a beton, a téglák és a kő, nagy hőtároló tömeggel rendelkeznek. Ezeknek az anyagoknak a gyártása jellemzően energiaigényes folyamat, a teljes életciklusra történő értékelésüknél ezt is figyelembe kell venni. Az épület aktív hőtároló tömegét leginkább az épületszerkezetek belső felülete közelében lévő anyagok befolyásolják. A napi hőingadozásban a mélyebb rétegek nem vesznek részt: az effektív vastagság egy napos időszakokra vonatkozóan kb. a belső felülettől számított első 10 cm, ebben a rétegben fontos a nehéz anyagok használata. A felszínhez közeli hőszigetelő rétegek azonban elvághatják a mögöttes tömeget. Például a belső oldali hőszigetelés, vagy akár a padlószőnyeg, álmennyezet is káros hatással lehet a hőtároló tömegre.

A nagyon jól szigetelt épületekben ugyanakkor a hőtároló tömeg szerepe kevésbé hangsúlyos, mert az épület külső változásokra adott reakcióideje egyenesen arányos a hőtároló képességgel, de fordítottan arányos az épület hőátviteli tényezőjével. Mivel a jól hőszigetelt épületekben a hőátviteli tényező nagymértékben lecsökken, ezek eleve lassan fognak reagálni minden időjárási változásra (azaz magas lesz az ún. idő állandójuk).

c. Innovatív passzív fűtési megoldások

Számos innovatív passzív fűtési megoldás létezik. Ezek közül sokat már 30-40 éve kifejlesztettek, de a legtöbbjük még mindig a kutatási fázisban van és gyakorlati alkalmazásuk korlátozott.

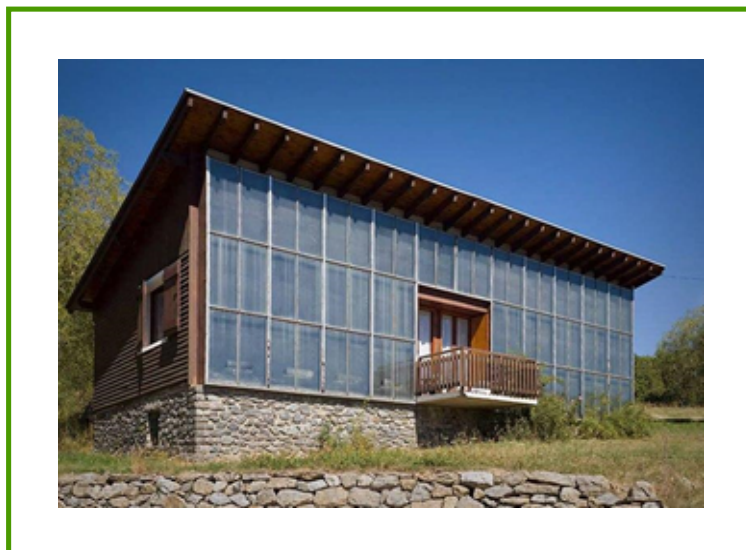
Naptér

A naptér az épülethez csatolt üvegezett, fűtetlen, déli tájolású tér, ami fűtéssel nem rendelkezik. A naptér napfényes időszakokban begyűjti a napsugárzást és az üvegházhatás révén felmelegszik. A hő az épülettel határos falon keresztül hővezetéssel és a nyitható szellőzőnyílásokon keresztüli légmozgással jut át a belső térbe. A hőtároló tömeg növelhető kőágy beépítésével, amelyen a naptérből származó meleg levegőt mechanikusan átvezetik, majd az éjszaka folyamán a kőágy hőszigeteléssel és vezetéssel leadja a hőt a belső tér felé. Ha nem süt a nap, akkor a naptér puffertérként funkcionál, azaz csökkenti a hőveszteséget és megvédi az épületet a szélről és az esőtől. Kedvező időjárási körülmények között hasznos életterként is használható. Mivel a napterek nyáron könnyen túlmelegedhetnek, a mobil árnyékolók alkalmazása elengedhetetlen, illetve a külső üvegezés alján és tetején elhelyezett működtethető szellőzőnyílások is hozzájárulhatnak a felesleges hő eltávolításához.

Trombe fal (tömegfal)

A Trombe fal alapvetően egy dél felé tájolt sötétre festett nagy tömegű fal, amely elnyeli a napsugárzást. A falat kívülről üvegezés borítja, az üvegezés mögött egy üvegházként működő légréteg van. A napsugárzásból származó hőt a fal eltárolja, a mögöttes helyiséget pedig a fal által lesugárzott, illetve a falban kialakított kis szellőzőnyílásokon keresztül szabályozott levegőcsere fűti. A szellőzőnyílások működtetése az évszaktól és a napszaktól függ: télen napos idő esetén a szellőzőnyílások napközben nyitva vannak, hogy elősegítsék a napenergia által felmelegített levegő bejutását a szobába, de éjszaka zárva vannak a tér lehűtésének elkerülése érdekében. A szerkezet nyári túlmelegedését árnyékoló eszközzel szükséges csökkenteni.

19. ábra: Trombe fal
Franciaországban⁴⁹



49 Forrás: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trombe_Wall_by_Felix_and_Michel.jpg

Transzparens hőszigetelés

A transzparens hőszigetelés egyesíti az üveg és a hőszigetelés funkcióját: jó hőszigetelő képességgel rendelkezik, de átengedi a napsugárzást. A jellemző konstrukció üvegből vagy műanyagból készül, méhsejt vagy kapilláris kialakítással. Transzparens hőszigetelőanyagokat alkalmaztak már többek között ablakok, falak és napkollektorok esetén is. Kombinálhatók Trombe falakkal is.

20. ábra: Homlokzat felújítás transzparens hőszigeteléssel (Villa Tannheim, Freiburg)⁵⁰



Fázisváltó anyagok

A fázisváltó anyagok beépítésével növelhető az épület hőtároló képessége. Ezeknek az anyagoknak alacsony az olvadáspontja, nagyjából az emberi komfort hőmérséklettartományában. Amikor a hőmérséklet emelkedik, az anyag szilárd halmazállapotból folyékonnyá válik és ez hőelnyeléssel jár. Később, amikor éjszaka lecsökken a hőmérséklet, az anyag megszilárdul, ami

hőfelszabadulást eredményez. Ezek az anyagok már kaphatók kereskedelmi termékekbe, például gipszvakolatokba és gipszkartonba integrálva, de használatuk még nem elterjedt.

21. ábra: Tömegfal paraffin fázisváltó anyaggal (Ebnat-Kappel, Svájc)⁵¹



50 Forrás: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Villa_Tannheim_in_Freiburg_Vauban,_Sitz_der_International_Solar_Energy_Society_\(ISES\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Villa_Tannheim_in_Freiburg_Vauban,_Sitz_der_International_Solar_Energy_Society_(ISES).jpg)

51 Kép forrása: <https://www.schwarz-architekten.com/project/solarhaus-iii/>

Szolárfal

Az ún. szolárfal egy perforált fémburkolat, amelyet egy déli fekvésű fal előtt építenek be. A fém mögött szellőző levegőréteg van, amelyet a beeső napsugárzás felmelegít, a meleg levegő pedig felemelkedik. A rendszer csatlakozik az épületgépészeti rendszerhez. Szellőző ventilátorok segítségével a meleg levegőt beszívják az épületbe, majd a légcsatornákon keresztül elosztják. Ez egy viszonylag egyszerű és olcsó technológia, amely sikeresen alkalmazható például ipari épületekben.

5.3 Passzív hűtési megoldások

A passzív hűtési megoldások jelentősen mérsékelhetik vagy akár teljesen eliminálhatják az épület hűtési energiaigényét. A hűtési terhelés passzív csökkentésének, illetve eltávolításának módszereit összegzik a következő fejezetek.

a. A hőterhelés csökkentése

A fák okos ültetése elősegítheti a belső hőmérséklet szabályozását. Örökzöld fák ültetése csak az északi oldalon, szélvédelem céljából javasolható. A déli oldalon a lombhullató fák kedvezőek. A nyári hónapokban árnyékolják az épületet, de télen, a levelek lehullása után nem akadályozzák a napsütés bejutását a belső térbe. A növényzet előnye, hogy evaporatív hűtést is biztosít (lásd 5.3.c fejezet).

A növényzet ültethető az épület homlokzatára, a tetőre vagy akár az épületen belül is. A zöld homlokzatok általában a homlokzatra szerelt alépítményre készülnek. A levelek árnyékolják a homlokzatot és evaporatív módon hűtik, ha

a növényeket rendszeresen öntözik. A vastag talajréteggel rendelkező, nagyobb növényekkel beültetett zöldtetők (ún. intenzív zöldtetők) hasonló hatásúak. Még ha a talajréteg vastagsága korlátozott is és a növények kisebbek (extenzív tető), a talaj nagy hőtehetetlensége akkor is csökkenti a belső tér hőterhelését.

22. ábra: Zöldfal (London, UK)⁵²



Árnyékolás

Az épületből kinyúló, jól megtervezett árnyékvető szerkezetek hatásos árnyékolást tudnak biztosítani. A déli tájolású ablakoknál jól működnek a vízszintes árnyékvető elemek, például a konzolos erkélyek vagy a túlnyúló tető.

Nyáron a nap mozgása és a hőmérséklet alakulása nem igazodik tökéletesen, mivel a nap júniusban jár a legmagasabban, de a legnagyobb meleg általában július-augusztusban jelentkezik. Ezért az árnyékolást úgy kell megtervezni, hogy még augusztusban is védje a napsütéstől az épületet. A keletre és a nyugatra néző ablakoknál a vízszintes árnyékolók nem túl hatékonyak, mivel a nap magassági szöge reggel és délután alacsony. Ebben az esetben a függőleges tagozatok vagy a külön árnyékoló eszközök hatékonyabbak. Az árnyékvetők előnye, hogy nem blokkolják teljesen a napfényt, így a természetes világítás elegendő lesz.

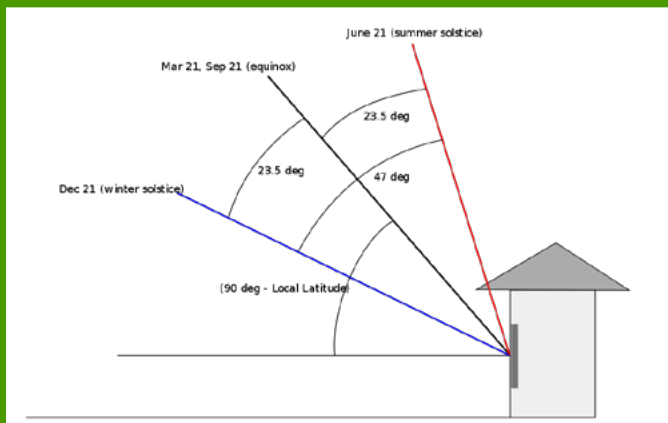
Az ablakok védelme megoldható különféle árnyékoló eszközökkel, például redőnyökkel, rolókkal, zsaluziával, napellenzőkkel, stb. Általánosságban a külső oldalon elhelyezett árnyékolók hatékonyabbak, mivel ezek már azelőtt blok-

52 Forrás: Szalay Zsuzsa

Kinyúló vízszintes árnyékvetők tervezése

Az elem kinyúlását úgy kell megtervezni, hogy nyáron, magas napállások mellett nyújtson árnyékolást, de télen az alacsonyabban járó Napot ne akadályozza. Például Magyarországon az északi 47° szélességi fokon a nap magassága délben:

- a napéjegyenlőség idején (március 21 / szeptember 21): $(90^\circ - \text{szélességi kör}) = 43^\circ$
- a nyári napfordulón (június 21): $(90^\circ - \text{szélességi kör} + 23,5^\circ) = 66^\circ$
- a téli napfordulón (december 21): $(90^\circ - \text{szélességi kör} - 23,5^\circ) = 20^\circ$



Kép forrása: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_altitude.svg

kolják a napsütést, mielőtt az elérné az üvegezés síkját. Ezzel szemben az üvegezésen átjutó és a belső árnyékoló által elnyelt hő már bent van a helyiségben és hozzájárul a tér felmelegedéséhez. A belső árnyékolók csak akkor hatáskosak, ha napfényvisszaverő képességük az ablak felőli oldalon magas. Léteznek az üvegtáblák között elhelyezhető állítható árnyékolók is, melyek meglehetősen hatékonyak és védettek a szél hatásaitól is. A nyitható vagy zárható, manuálisan vagy automatikusan működtethető árnyékolók előnye, hogy használatuk a nap helyzetéhez igazítható a nap és az év folyamán. Az árnyékolók szintén hasznosak a káprázás ellen. A napenergia bejutó hányadát jellemző árnyékolási tényezőre mutat néhány példát a lenti táblázat.

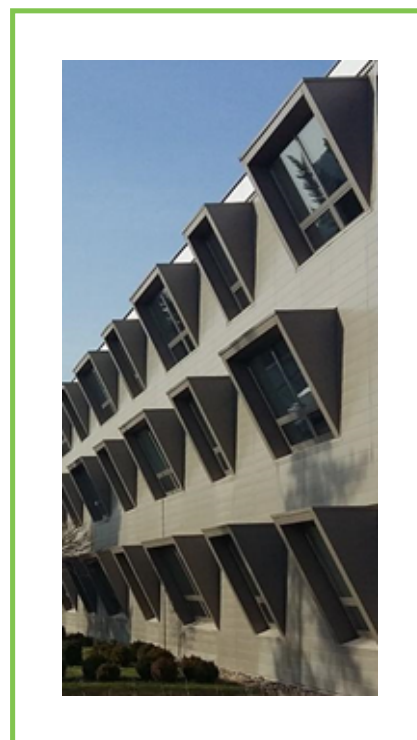
Az árnyékolókkal kapcsolatos általános probléma, hogy legtöbbjük a bejövő fényt is csökkenti, ezzel akár jó külső fényviszonyok esetén is szükségessé téve a mesterséges megvilágítást. Az állítható lamellákkal ellátott zsaluziák, zsalugáterek jó megoldást jelentenek, mivel az árnyékolás mellett egyidejűleg lehetővé teszik a világítást, a külvilággal való vizuális kapcsolatot és a szellőzést is.

Árnyékoló típus	Árnyékolási tényező	
	Belül elhelyezve	Kívül elhelyezve
Redőny	-	0,1
Reluxa, világos	0,45	0,15
Reluxa, sötét	0,80	0,35
Textil roló, világos	0,55	0,35
Textil roló, sötét	0,85	0,6
Roló reflexív (alu) bevonattal	0,2	0,1
Függöny, világos	0,8	-
Függöny, sötét	0,95	-

23. ábra: Mobil árnyékolók árnyékolási tényezője ⁵³

Speciális üvegezések

Az árnyékolást maga az üvegezés is biztosíthatja. Különböző fóliákkal és bevonatokkal ellátott üvegezések nagy választéka áll rendelkezésre. Az üvegezés legfontosabb jellemzője a sugárzásátbocsátási képesség (g-érték vagy SHGC) és a látható fény átteremtése. Míg a magas fényáteresztési érték mindig hasznos, télen a magas, nyáron viszont alacsony g-érték az előnyös. Mivel a normál üvegezés nem képes alkalmazkodni a változó körülményekhez, ezért egy lakóépületben az üvegezés és a működtethető árnyékolók kombinációja alkalmasabb, mint egy szabályozhatatlan napvédő üveg, amely akár a bejutó fény színét is megváltoztathatja.



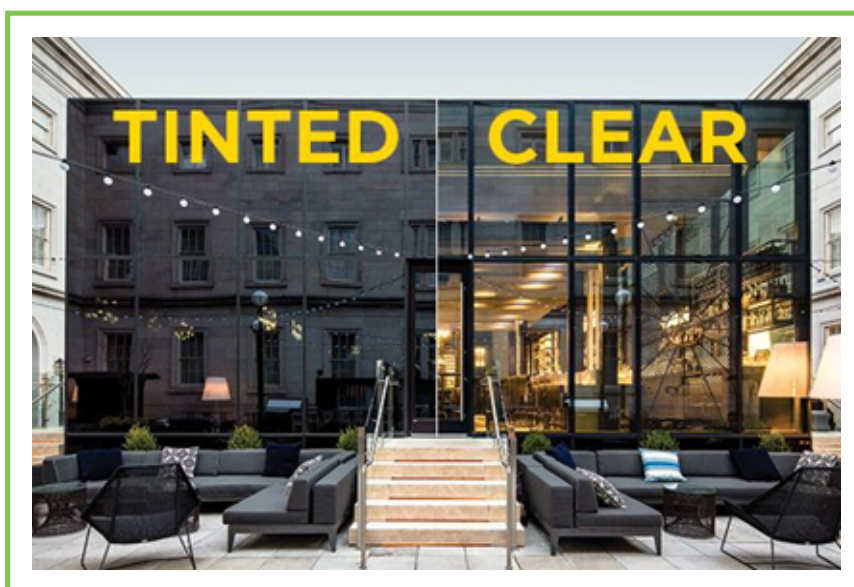
24. ábra: Árnyékolás döntött üvegezéssel (ÉMI, Szentendre) ⁵⁴

53 Forrás: MSZ EN ISO 13790: 2008

54 Forrás: Deme Bélafi Zsófia

Vannak olyan innovatív, de meglehetősen drága speciális üvegezések is, amelyek a külső körülményektől függően dinamikusan megváltoztatják tulajdonságaikat. A fotokróm üvegezés napfény hatására sötétedik, az automatikusan sötétedő napszemüvegekhez hasonlóan. Mivel azonban ezek működését a fény mennyisége szabályozza, egy hideg, de napsütéses napon is elsötétedhetnek, amikor a szoláris nyereség hasznos lenne. A termokróm üveg a hőre reagál és az intenzívebb napfény hatására besötétedik. A termotróp rendszerek a hőmérséklet függvényében megváltoztatják fényszórási tulajdonságukat. Az elektrokróm üvegezés visszafordítható változáson megy keresztül, ha fény esik rá – előnye, hogy manuálisan is vezérelhető.

25. ábra: Elektrokróm üvegezés (Washington)⁵⁵



Hőtároló tömeg

Nyáron a hőtároló tömeg segíti a hőmérsékleti csúcsok csökkentését és időbeli eltolását a külső hőmérsékleti csúcshoz képest. (ld: 5.2.b fejezet). A napsugárzást és a belső terhelést a hőtároló tömeg napközben elnyeli, majd leadja, amikor a külső hőmérséklet a belső hőmérséklet alá süllyed, ezt a leadott hőt pedig természetes szellőzéssel, lehetőség szerint keresztuzattal lehet eltávolítani.

55 Forrás: <https://www.sageglass.com/en/article/what-electrochromic-glass>

b. A hőterhelés eltávolítása

Szellőzés

A hőterhelést és a hőtároló tömegben tárolt hőt a leghatékonyabban a szellőztetés tudja eltávolítani, amikor a külső levegő hőmérséklete alacsonyabb, mint a belső hőmérséklet – azaz nyáron általában éjszaka. A légcseré az átellenes homlokzatokon lévő nyílászárók és a belső ajtók kinyitásával, keresztuzattal növelhető. A nappali meleg időszakokban viszont érdemes a szellőztetést minimalizálni, így elkerülve a további hőterhelés bejutását. Ilyenkor a forró levegő beengedése helyett a belső légmozgás egyszerű ventilátorokkal fokozható.

Az épületszerkezetek átszellőztetése is segít csökkenteni a hőterhelést. A külső homlokzati burkolat vagy tetőburkolat mögötti szellőztetett légréteg „esernyőként” funkcionál az eső és „napernyőként” a napsütés ellen. A felmelegedett levegő gyorsabban mozog a légrétegben és ez a fokozott természetes szellőzés eltávolítja a hőt a légréteggel határos felületről.

c. Innovatív passzív hűtési megoldások

Evaporatív hűtés

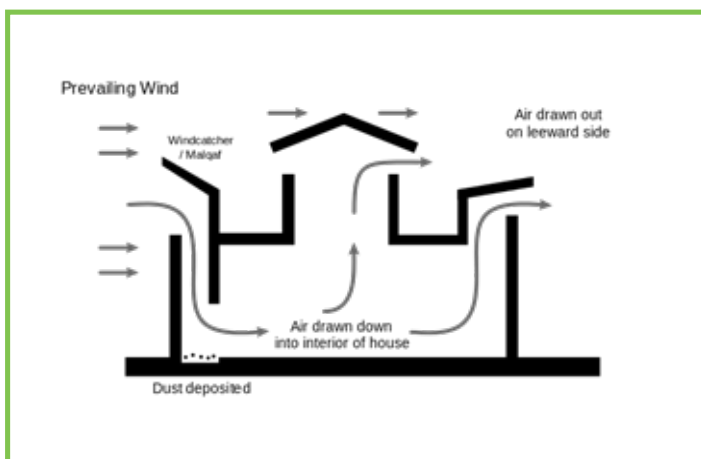
Az evaporatív hűtés hagyományosan a Közel-Kelet forró és száraz éghajlatán, valamint a mediterrán építészetben jellemző. A levegő nagy felületű vízzel, például szökőkúttal vagy medencével érintkezik, a víz felmelegszik, majd párologni kezd, miközben a levegő hőmérséklete csökken, de hőtartalma nem változik. Ez a fajta hűtés növeli a levegő relatív páratartalmát, így csak akkor működik jól, ha a külső levegő elég száraz.



26. ábra: Evaporatív hűtés növényzettel és szökőkúttal (Alhambra, Granada)⁵⁶

Szélfogók

A szélfogókat vagy széltornyokat hagyományosan a forró, száraz vagy nedves területeken építették, például a Közel-Keleten és Egyiptomban. Fő szerepük a természetes szellőzés fokozása és hűtés biztosítása a külső levegő az épületbe való vezetése révén. A szélfogó a tető tetején található, ahol a szélesség nagyobb, nyílásai az uralkodó szélirány felé néznek. A levegőt az épület pincéjén vagy egy vízfelületen keresztülvezetve előhűtik, mielőtt belépne a helyiségbe. Az elszívás fokozható, ha Venturi tányérral építünk a toronyra. A Venturi-hatás szerint a folyadék sebessége növekszik és statikus nyomása csökken, ha egy szűk csövön halad át.



27. ábra:

*A szél belép a szél felőli oldalon az egyik szélfogóba, majd távozik a másik oldalon*⁵⁷

*28. ábra: Venturi torony a magyar nest+ projekten az épület természetes szellőzésének fokozására, passzív hűtésére*⁵⁸



57 Forrás: <https://www.wikiwand.com/en/Windcatcher>

58 Forrás: http://www.sde2019.hu/hungarian_nestplus.html

Napkémény

A napkémény természetes szellőzést és passzív hűtést biztosít. Ez egy sötétre festett, a déli oldalon üvegborítással ellátott 'kémény', melyet az épületen kívül helyeznek el. Napsugárzás hatására a napkéményben a levegő felmelegszik és a nagy hőmérséklet-különbség miatt felszáll (kürtőhatás), ami légmozgást indít be és a belső térben kellemes huzatot okoz. Egy lépcsőház vagy egy többszintes átrium is működhet napkéményként.

Kapcsolódó szakirodalom

- Zöld, András ; Szalay, Zsuzsa ; Csoknyai, Tamás: Energiatudatos építészet 2.0, Budapest, Magyarország : TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. (2016) , 320 p. ISBN: 9786155445347 OSZK
- John R. Goulding (Author), J. Owen Lewis (Author), T. C. Steemers (Editor): Energy Conscious Design: A Primer for Architects, B T Batsford Ltd; Revised Edition (1993)
- Christian Schittich (Editor)Solar Architecture, Birkhäuser Architecture; 1st edition (November 24, 2003)
- <https://www.passipedia.org/>
- https://energyeducation.ca/encyclopedia/Main_Page
- <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Home>
- <https://www.greenspec.co.uk/>