



HI-SMART: HIGHER EDUCATION PACKAGE FOR NEARLY ZERO ENERGY  
AND SMART BUILDING DESIGN

## MODUL #2

AZ nZEB-BEN HASZNÁLT SZABVÁNYOS ÜVEGEZÉSI RENDSZEREK

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



SLOVAK UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY IN BRATISLAVA



## 1.1 BEVEZETŐ

Jelen fejezethez tartozó prezentáció (külön fájlban letölthető) az alacsony emissziós képességű üvegezési rétegek fontosságával foglalkozik az energiaegyensúly javítása és a belső vizuális komfort fenntartása szempontjából. Ismerteti a sugárzás fizikai természetét és a hozzá kapcsolódó felületi emissziós képességet, valamint az üveg felületi emissziós képességének változásának hatásait az alacsony emissziós képességű réteg helyzetétől függően. Tárgyalja továbbá az üveg és az alacsony emissziós képességű réteg leggyakoribb kombinációinak - az úgynevezett "nagy teljesítményű" üvegek és az úgynevezett "low-e" üvegek - az elveit, előnyeit és hátrányait.

## 1.2 NAPSUGÁRZÁS

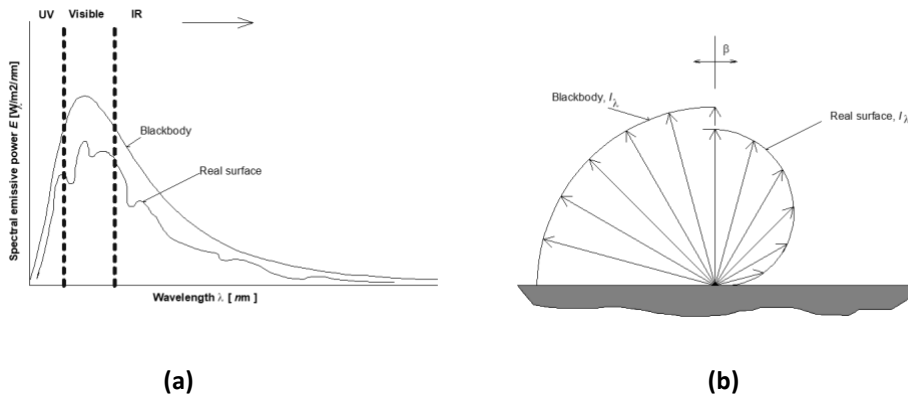
A napsugárzás a hőátadás egyik legizgalmasabb, ugyanakkor legbonyolultabb módja. Ez különböző hullámhosszúságú, különböző irányú elektromágneses hullámok. Attól függően, hogy mi érdekel minket leginkább, beszélünk spektrális (hullámhossz szerinti), irányított vagy integrált (teljes) sugárzásról. A sugárzás irányát tekintve két szélsőséges esetet szokás megkülönböztetni - a közvetlen és a diffúz sugárzást. Spektrális szempontból gyakran beszélünk a napsugárzás látható (fény) és láthatatlan (röntgen, UV, IR) részéről. A Föld felszínét érve a sugárzás a hullámhosszától és irányától, valamint annak az anyagnak a jellegétől függően, amelyre beesik, visszaverődik, átereszt vagy elnyelődik. Félig átlátszó anyagokban (pl. üveglap, víz) mindhárom jelenség előfordul, azaz,

$$\rho (\text{visszaverődés}) + \tau (\text{áteresztés}) + \alpha (\text{elnyelődés}) = 1 \quad (1)$$

Az átlátszatlan anyagokban az áteresztéssel nem számolunk, azaz

$$\rho (\text{visszaverődés}) + \alpha (\text{elnyelődés}) = 1 \quad (2)$$

Az elnyelt sugárzás megemeli az anyag (tömeg) hőmérsékletét, amely viszont a felesleges hőenergiát kibocsátással eltávolítja. A kibocsátott energia mennyisége az emissziós tényezőtől (felületi sugárzás) függ,  $\varepsilon$ , amely az anyagok egyik jellemzője. Az emissziós tényezőt az anyag felülete által kibocsátott sugárzás és az azonos hőmérsékletű fekete test által kibocsátott sugárzás hányadosaként határozzák meg (1. ábra) (Incropera & DeWitt, 1996). A fekete test tökéletes elnyelője és kibocsátója a sugárzásnak, míg a napsugárzás intenzitásának spektrális eloszlása a hullámhosszak mentén megközelíti a fekete test sugárzás intenzitásának spektrális eloszlását 5800 K hőmérsékleten.



1. ábra - A feketetest és a valós felszíni sugárzás összehasonlítása. (a) Spektrális eloszlás, (b) Irányeloszlás ( $I_b =$  sugárzás intenzitása,  $\beta =$  sugárzás szöge) (Incropera & DeWitt, 1996)

A feketetest-sugárzás intenzitását egy adott hullámhosszon az emissziós tényező határozza meg. A Stefan-Boltzmann-törvény szerint a sugárzás hullámhossza, és így a fekete test emissziós tényezője a test hőmérsékletétől függ (Incropera & DeWitt, 1996) azaz

$$I_b = E_b / \pi = \sigma T^4 / \pi \quad (3)$$

ahol  $I_b$  a feketetest-sugárzás intenzitása a sugárzási tényező függvényében ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $E_b$  a emissziós teljesítmény ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $\pi$  a pi,  $\sigma$  a Stefan-Boltzmann állandó ( $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ ) a  $T$  pedig a hőmérséklet Kelvinben kifejezve. Nagyon leegyszerűsítve, egy adott anyag felületének sugárzási tényezője a következőképpen néz ki

$$\varepsilon(T) = I(T) / I_b(T), \quad (4)$$

$$\text{resp. } \varepsilon(T) = E(T) / E_b(T) \quad (\text{Incropera \& DeWitt, 1996}) \quad (5)$$

ahol  $\varepsilon(T)$  az anyagfelület emissziós tényezője adott hőmérsékleten (-),  $I(T)$  az anyagfelület sugárzásának intenzitása adott hőmérsékleten  $\text{W}/\text{m}^2$ -ben és  $E(T)$  az anyagfelület emissziós tényezőjéből adódó teljesítmény adott hőmérsékleten  $\text{W}/\text{m}^2$ -ben. A fentiekből látható, hogy egy adott anyag emissziós tényezője függ a felületének hőmérsékletétől és a kibocsátott sugárzás hullámhosszától. De függ a sugárzás irányától is (lásd 1. ábra). A felület síkjára nem merőleges sugárzási szögek (ún. normál ( $\varepsilon_n$ )) esetén az emissziós tényezőtől való eltérések elhanyagolhatóak. Ezért normál használat esetén (Incropera & DeWitt, 1996)

$$\varepsilon \approx \varepsilon_n \quad (6)$$

A szabványokban, illetve a szakirodalomban közzétett, az egyes anyagok felületi emissziós értékeit tartalmazó táblázatok többnyire 300 K (26,85 °C) hőmérsékletre vagy a leggyakoribb



felhasználási vagy előfordulási helyzetre (pl. jég 0 °C-on) vonatkozó értékekre vonatkoznak. Fémek esetében több hőmérsékletre vonatkozó értékekre hivatkoznak, mivel a sugárzási képesség a hőmérséklet függvényében és a kapcsolódó kémiai folyamatok jelentősen változhatnak. A Kirchhoff-törvény szerint a legtöbb anyagra normál hőmérsékleten igaz, hogy

$$\alpha = \varepsilon \quad (7)$$

Egyes anyagok, pl. fémek esetében a (7) összefüggés nem feltétlenül kell, hogy száz százalékban igaz legyen (Incropera & DeWitt, 1996).

### 1.3 ÜVEG

Az üveg kétségkívül az egyik legvonzóbb építőanyag. Lehetővé teszi az épület belső és külső környezete közötti vizuális kapcsolatot, valamint a napfény és a napfény hőjének hasznosítását. Érdekes tulajdonságokkal rendelkezik (Encyclopedic Technology, 1963) - az átlátszóság mellett láng felett alakítható és savakkal szemben ellenálló, ami különösen fontos a vegyiparban. Kvarchomokból készül, adalékkal (kálium-karbonát, mészkő, szóda vagy ólom-tetraoxid), magas hőmérsékletre (kb. 1600 °C) hevítve, formálással és hűtéssel. Lehűlés után megkeményedik, de megtartja átlátszóságát. Az olvadt üveg hűtésének módja az üveg számos döntő tulajdonságát, különösen az üveg szilárdságát dönti el. A síküveget öntéssel, fúvással, préseléssel, hengerléssel vagy húzással állítják elő (Enciklopédikus Technológia, 1963). A múltban a legnagyobb arányban húzott üveg volt (Encyclopedic Technology, 1963): "Az üveg folyékony állapotban eléggé összefüggő ahhoz, hogy függőként lógjon az ablakon. Az üveg húzására többféle módszer létezik, de mindig úgy kezdődik, hogy egy vaskeretet, amelyhez az üveget rögzítik, zománcos kádba merítenek. Amikor a keretet felhúzzák, egy széles (akár 300 cm-es) végtelenített sík üvegszalagot hoznak létre, amely a hengereken és a hűtőkön áthaladva az üvegekre vágódik. Az üvegvastagság a hőmérséklet és a húzási sebesség változtatásával szabályozható. Az így elkészített táblaüveg nem tökéletesen sima és egyenletesen vastag. Ezért csiszolásra van szükség. Egy másik lehetőség az olvasztott üveg folyékony ónfüredő felületére történő kiöntése. Folyékony állapotban az ón tökéletesen sík és sima, az üveg pedig teljesen sík tányérrá ömlik rajta."

Az üveg másik nagy előnye, hogy szinte 100%-ban újrahasznosítható. A használt üveg feldolgozási folyamata nagyjából ugyanaz, mint az új üveg gyártásánál. A Vetropack szerint az üveg újrahasznosításának legfontosabb korlátja a színe. A fehér üveg előállításához csak fehér üvegszilánkokat lehet felhasználni. Ezért a használt üveg részaránya a gyártásban erősen függ az előállított üveg színétől. (Vetropack).

### 1.4 AZ ÜVEGEZÉS ÉPÜLETFIZIKAI TULAJDONSÁGAI

Ellentétben a nem átlátszó szerkezetekkel, amelyeket elsősorban a hővezetési tényező jellemez ( $\lambda$ ), az üvegezés esetében fontosak azok a tulajdonságok is, amelyek a napsugárzás

áteresztőképességének tulajdoníthatók. Ezeknek a tulajdonságoknak két fő típusa van - szoláris és optikai. A szoláris tulajdonságok többé-kevésbé a napfény teljes spektrumára vonatkoznak, mint integrált sugárzásra, amely magában foglalja a spektrális és irányított sugárzást is, az optikaiak csak a látható részre - a fényre és annak becsapódási és visszaverődési irányára.

Becsapós, hogy mind a szoláris, mind az optikai jellemzők, azaz az áteresztőképesség (közvetlen áteresztőképesség) ( $\tau$ ) a fényvisszaverő képesség ( $\rho$ ), és az abszorpciós képesség ( $\alpha$ ) szimbólumai megegyeznek. A félreértések elkerülése érdekében célszerű alsó indexeket hozzáadni hozzájuk, mint például "sol", illetve "opt". A fent felsorolt jellemzők mellett a napenergia tulajdonságainak globális jellemzője a teljes napenergia-átbocsátási együttható, az úgynevezett szoláris tényező vagy a  $g$ -érték formájában kerül bevezetésre.

A szoláris tényezőt (teljes napenergia-átbocsátási tényező,  $g$ ), az EN 410:1998 szabvány szerint az üvegezés közvetlen napenergia-átbocsátási tényezőjének ( $\tau_{sol}$ ) és az üvegezés másodlagos hőátbocsátási tényezőjének ( $q_i$ ) összegeként határozzák meg. A másodlagos hőátadási tényezőt az üvegezés által elnyelt beeső napsugárzás konvekció és hosszúhullámú infravörös sugárzás okozza. A  $g$ -értékre vonatkozó egyenlet a következő:

$$g = \tau_{sol} + q_i \quad (8)$$

A közvetlen napenergia-átbocsátási tényező ( $\tau_{sol}$ ) az üvegezés tulajdonsága. Ez a beeső napsugárzás azon része, amely áthalad az üvegezésen, és úgy írható le, mint a primer hőnyereség ( $g_1$ ) osztva a teljes beeső napsugárzás hőáramával ( $\varphi_e$ ) (több szabvány, pl. az ISO 15099:2003, az  $\varphi_e$  helyett az  $I$  jelet használja a beeső napsugárzás teljes hőáramának sűrűségére). A másodlagos hőátadási tényező ( $q_i$ ) az üvegezési rétegek abszorpciós tényezőitől, emissziós tényezőitől (hosszúhullámú infravörös sugárzás,  $\varepsilon$ ) és a hővezetési tényezőtől ( $\lambda$ ) függ, beleértve az üregeket és a felületi hőátadást is. Ez a beeső napsugárzás elnyelt része, amely a belső tér felé vezető és sugárzó hőáramlással alakul át, és úgy írható le, mint a másodlagos hőnyereség ( $g_2$ ) osztva a teljes beeső napsugárzás hőáramával ( $\varphi_e$ ). Ezért a  $g$ -érték másik egyenlete a következő:

$$g = \frac{g_1 + g_2}{\varphi_e} \quad (9)$$

A szoláris tényező az üvegezési rendszerek egyik legfontosabb jellemzője, mivel lehetővé teszi az üvegezési rendszer jövőbeni teljesítményének azonnali és megbízható értékelését a napfény okozta hőnyereség szempontjából. Így az üvegezés szoláris, valamint optikai és termikus jellemzői a nemzetközi és európai szabványokban meghatározott számítási eljárásokkal kimutathatók. Ennek előfeltétele azonban az egyes üvegek jellemzőinek mért értékei, azaz  $\alpha$ ,  $\tau$ ,  $\rho$ ,  $\varepsilon$  és  $\lambda$ . Ezeket az üvegyártóktól vagy minőségi adatbázisokból, például a WIS-től ([www.windat.org](http://www.windat.org)) lehet beszerezni. A WIS adatbázis előnye, hogy lehetővé teszi a

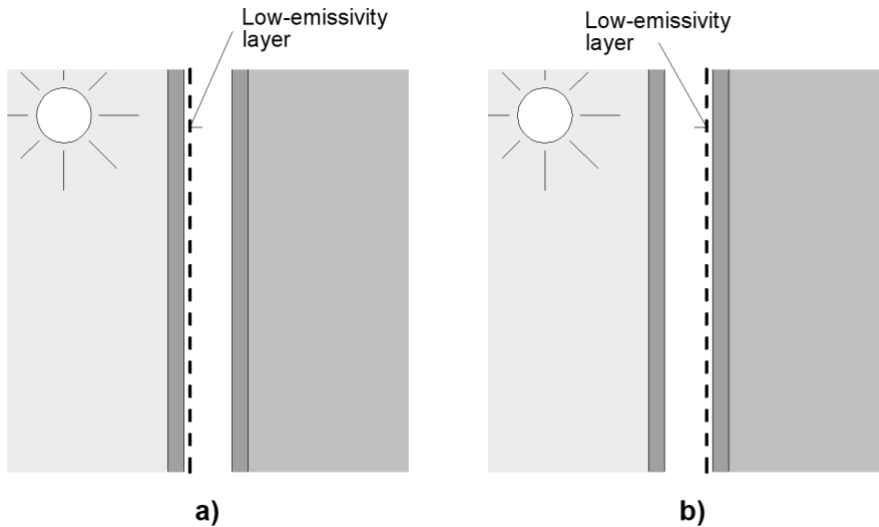


bármilyen konfigurációjú üvegezési rendszerek szoláris, optikai és termikus jellemzőinek kiszámítását is, beleértve a levegővel/gázzal/vákuummal töltött tereket, illetve a szellőztetett tereket, további fényvisszaverő rétegeket, árnyékoló elemeket és akár kereteket is. A peremfeltételek értékei szabadon megadhatók, vagy normatív adatok is használhatók (például az ISO 15099: 2003 megkülönbözteti a téli és nyári peremfeltételeket). A WIS eredményei felhasználhatók az épületek energiateljesítményének szimulációjára szolgáló szoftverekben, valamint a nappali fény szimulációjában.

## 1.5 ALACSONY EMISSZIVITÁSÚ RÉTEG

Jelenleg az üveg tulajdonságai jelentősen módosíthatók (Encyclopedic Technology, 1963). Az építőiparban az üvegek kezelésének két leggyakoribb módját alkalmazzák a szoláris tulajdonságaik javítása szempontjából - fényvisszaverő fóliák alkalmazása és az úgynevezett bevonatolás vagy galvanizálás. Az első módszer, mint a neve is mutatja, a spektrum látható részének (fény) visszaverő képességének javítására szolgál. Ezt ott alkalmazzák, ahol csökkenteni szeretnénk a belső terek hűtési terhelését. Ennek a módszernek az a hátránya, hogy a természetes fény átérésztését is csökkenti, ami a mesterséges fény fokozott felhasználásához vezethet, és így ironikus módon növeli a belső hőnyereséget. A második módszer az üveg emissziós képességének csökkentésén alapul, rendkívül vékony fémréteg felhordásával. Ez vagy az üveg gyártása során pirolitikus bevonattal történik (on-line eljárás), vagy az üveg keményítése után úgynevezett magnetron-technológiával (off-line eljárás) ([www.glassdbase.unibas.ch](http://www.glassdbase.unibas.ch)). A galvanizálás az üveg sugárzási képességét a 0,9-0,95 körüli értékekről (tiszta üveg) 0,2 körüli értékekre csökkentheti. Az ilyen üveget alacsony emissziós képességű vagy "low-e" üvegnek nevezik, ha a bevonat az üveg külvilág felé néző oldalán van. Ha a beltéri környezet felé eső oldalon van, miközben ez is alacsony emissziós képességű üveg, gyakran nevezik úgynevezett "nagy teljesítményű" üvegnek (németül a "Sonnenschutzglas" kifejezést használják), hogy különbséget tegyenek a kettő között.

Az infravörös sugárzás befelé történő csökkentése nagymértékben csökkenti a hűtőrendszer hőterhelését, ezért a nagy teljesítményű üvegeket elsősorban azokon a területeken használják, amelyeket jobban kell hűteni, mint fűteni. Ezzel szemben az alacsony-e üvegeket azokon a területeken használjuk, ahol meg akarjuk akadályozni a hőveszteséget és ki akarjuk használni a napsugárzást. Mindazonáltal a hőveszteség csökkentéséhez való hozzájárulása nem olyan kifejezett, mint a nagy teljesítményű üveg hatása a napsugárzásból származó hőnyereség csökkentésében.



2. ábra – Az alacsony emisszivitású réteg jellemző elhelyezkedése a kettős üvegezésben. (a) Magas teljesítményű rendszer, (b) Low-e rendszer

Tekintettel arra, hogy a mi éghajlati viszonyaink között elengedhetetlen a legalább két üvegtáblával és zárt, levegővel vagy vákuummal, illetve inert gázokkal és azok levegővel való keverékeivel töltött üreggel rendelkező üvegezési rendszerek használata, az alacsony-e réteg különböző pozíciókban helyezhető el. A 2. ábra az alacsony emissziós képességű réteg tipikus helyeit mutatja a kettős üvegezésen belül, alacsony-e és nagy teljesítményű üvegek használata esetén.

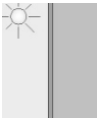
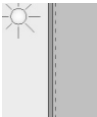
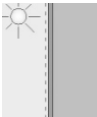
Természetesen az alacsony emissziós képességű üveget nem önmagában, hanem üvegezési rendszerekben használják. Ezért hatékonyságuk növelhető, pl. low-e üveg esetén inert gázzal vagy vákuummal töltött zárt üregekkel, nagy teljesítményű üveg esetén szellőző légrétegekkel vagy külső pozícióban lévő fényvisszaverő üveggel. Mindig jó, ha a tervezett üvegezési rendszert elemezzük, pl. megfelelő szoftverrel, mint pl. a WIS, hogy a vizsgált terek későbbi napfény- vagy energiamérlegei a lehető legjobban megfeleljenek a valós viselkedésnek

## 1.6 SZELEKTIVITÁS

A megfelelő üveg vagy üvegezési rendszer kiválasztása elsősorban a tervezett tér beltéri komfortjával kapcsolatos követelményektől függ, és ezek – különösen nyáron – egymásnak ellentétesek is lehetnek. Az irodai terekben például a lehető legjobb napfényt kell elérni, de a túlmelegedést is meg akarjuk akadályozni. Az alacsony emissziós képességű réteg használata csökkenti az üveg, illetve az üvegezési rendszer fényáteresztését, ami a csökkentett a szoláris tényező nemkívánatos mellékhatása. Ezért az üvegyártók a  $g$ - és  $U$ -

értékek mellett az üveg vagy üvegezési rendszer úgynevezett szelektivitását is bevezetik, hogy bizonyítsák az egymással ellentétes követelményeknek való megfelelést.

1. táblázat: A tipikus átlátszó, nagyteljesítményű, alacsony emisszivitású (low-e) üveg jellemzői.

| Üveg típusa   | fényáteresztés<br>( $\tau_{opt}$ ) [-] | $g$ -<br>érték<br>[-] | $U$ -érték<br>[W/(m <sup>2</sup> K)] | szelektivitás,<br>$S$<br>[-] |
|---|--|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|
|  Átlátszó üveg             | 0,885                                  | 0,840                 | 4,69                                 | 1,05                         |
|  Nagyteljesítményű<br>üveg | 0,565                                  | 0,472                 | 2,54                                 | 1,20                         |
|  Low-E üveg                | 0,565                                  | 0,583                 | 3,96                                 | 0,97                         |

2. táblázat: A jelenlegi technológiákkal elérhető szelektivitás értékek (Brandi, 2005)

| Üveg típusa                                   | fényáteresztés<br>( $\tau_{opt}$ ) [-] | $g$ -érték<br>[-] | szelektivitás, $S$<br>[-] |
|---|--|-------------------|---------------------------|
| Low-E<br>(hőszigetelő üveg)                   | 0,70                                   | 0,60              | 1,17                      |
| Nagyteljesítményű<br>üveg<br>(színes)         | 0,25                                   | 0,21              | 1,19                      |
| Nagyteljesítményű<br>üveg<br>(semleges színű) | 0,66                                   | 0,33              | 2,00                      |

A szelektivitás az optikai áteresztőképesség ( $\tau_{opt}$ ) és a  $g$ -érték aránya. Minél magasabb, annál jobban megfelel az üveg vagy üvegezési rendszer a nappali fénykomfortra és a nyári





túlmelegedés csökkentésére vonatkozó követelmények ütközése szempontjából. A jelenlegi technológiákkal elérhető maximális szelektivitás értéke körülbelül 2.

Az 1. táblázat a fent említett tiszta, nagy teljesítményű és alacsony emisszivitású (low-e) üvegek szelektivitását ( $S$ ) fényáteresztő képességét ( $\tau_{opt}$ ) valamint  $g$ - és  $U$ -értékeit mutatja. Természetesen más üvegek fajlagos értékei a gyártótól és az alkalmazott technológiától függően változhatnak. A mai technológiákkal elérhető értékeket a 2. táblázat mutatja be.

## REFERENCIÁK

Incropera F. P., DeWitt D. (1996). Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fourth Edition, John Wiley & Sons, USA.

Encyclopedic work (1963): Technology, Albus Books Ltd., London, UK (in Slovak).

Vetropack: Sklo ostáva sklom (Glass remains glass), Company leaflet, Vetropack Nemšová s.r.o., SK (in Slovak).

Brandi U. et al. (2005). Detail Praxis: Tageslicht / Kunstlicht. Grundlagen, Ausführung, Beispiele, Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, Munich, Germany (in German).

Van Dijk D., Goulding, J. (2002). WIS Reference Manual, TNO - Building and Construction Research, Department of Sustainable Energy and Buildings, Delft, The Netherlands ([www.windat.org](http://www.windat.org)).

EN 410 (1998): Glas in Building – Determination of luminous and solar characteristics of glazing

ISO 15099 (2003): Thermal performance of windows, doors and shading devices — Detailed calculations

<http://www.glassonweb.com/glassmanual>

<http://www.glassdbase.unibas.ch>



A projektet az Európai Bizottság támogatta. A kiadványban megjelentek nem szükségszerűen tükrözik az Európai Bizottság nézeteit.

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



SLOVAK UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY IN BRATISLAVA



ENERGIACLUB  
CLIMATE POLICY INSTITUTE  
APPLIED COMMUNICATIONS