

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



*PODIPLOMSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA*

DOKTORSKI ŠTUDIJ

Kandidat:

mag. Roman Kunič, univ.dipl.inž.grad.

**NAČRTOVANJE VREDNOTENJA VPLIVA
POSPEŠENEGA STARANJA BITUMENSKIH TRAKOV
NA KONSTRUKCIJSKE SKLOPE**

Doktorska disertacija štev.: 176

**PLANNING AN ASSESSMENT OF THE IMPACT OF
ACCELERATED AGEING OF BITUMINOUS SHEETS ON
CONSTRUCTIONAL COMPLEXES**

Doctoral thesis No.: 176

Temo doktorske disertacije je odobrila Komisija za doktorski študij na 39. redni seji 6. julija 2007, po pooblastilu s 16. seje Senata Univerze v Ljubljani, 4. julija 2007 in imenovala mentorja prof.dr. Aleša Krainerja in somentorja prof.dr. Borisa Orla.

Ljubljana, 09. november 2007

II

Kunič, R. 2007. Načrtovanje vrednotenja vpliva pospešenega staranja bitumenskih trakov na konstrukcijske sklope.
Doktorska disertacija – UNI Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente – KSKE.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



PODIPLOMSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA

DOKTORSKI ŠTUDIJ

Komisijo za oceno ustreznosti teme doktorske disertacije v sestavi
prof.dr. Aleš Krainer
doc.dr. Živa Kristl
prof.dr. Niko Seliškar
prof.dr. Boris Orel (Kemijski inštitut, Ljubljana).

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 6. redni seji dne
28. marca 2007.

Komisijo za oceno doktorske disertacije v sestavi
prof.dr. Aleš Krainer
doc.dr. Živa Kristl
prof.dr. Niko Seliškar
prof.dr. Boris Orel (Kemijski inštitut, Ljubljana).

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 10. redni seji dne
26. septembra 2007.

Komisijo za zagovor doktorske disertacije v sestavi
prof.dr. Bojan Majes, dekan, predsednik
prof.dr. Aleš Krainer
doc.dr. Živa Kristl
prof.dr. Niko Seliškar
prof.dr. Boris Orel (Kemijski inštitut, Ljubljana).

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 11. redni seji dne
24. oktobra 2007

IV

Kunič, R. 2007. Načrtovanje vrednotenja vpliva pospešenega staranja bitumenskih trakov na konstrukcijske sklope.
Doktorska disertacija – UNI Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente – KSKE.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



*PODIPLOMSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA*

DOKTORSKI ŠTUDIJ

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **mag. ROMAN KUNIČ, univ.dipl.inž.grad.**, izjavljam, da sem avtor doktorske disertacije z naslovom: » **NAČRTOVANJE VREDNOTENJA VPLIVA POSPEŠENEGA STARANJA BITUMENSKIH TRAKOV NA KONSTRUKCIJSKE SKLOPE** «.

Ljubljana, 09.11.2007

.....
(podpis)

Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček

UDK	69.059.4:691.16:692(043.3)
Avtor:	Roman Kunič
Mentor:	prof. dr. Aleš Krainer
Somentor:	prof. dr. Boris Orel
Naslov:	Načrtovanje vrednotenja vpliva pospešenega staranja bitumenskih trakov na konstrukcijske sklope
Obseg in oprema:	194 str., 11 pregl., 24 graf., 12 sl., 15 en.
Ključne besede:	življenjska doba, pospešeno staranje, Arrheniusov zakon, Arrheniusova enačba, aktivacijska energija, staranje bitumenskih trakov, celostno načrtovanje in oblikovanje, vrednotenje življenjskega ciklusa – LCA, vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu – LCCA, neto sedanja vrednost – NPV, vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh

Izvleček

Vpliv družbe na okolje je vse intenzivnejši, kar vzbuja povečanje ozaveščenosti in nakazuje potrebo po varčevanju z energijo in varovanju okolja. Ekonomija in svetovno gospodarstvo je od začetka industrijske revolucije do sedaj slonelo na relativno poceni in ceneni energiji, surovinah in drugih virih. V 21. stoletju bo svetovna ekonomija odvisna od varčevanja z energijo, ekološkega načrtovanja, recikliranja, ponovne uporabe, ponovne izdelave in popravil.

Gradbeništvo v vseh državah, in tudi na globalnem svetovnem nivoju, predstavlja najmanj deset odstotkov v bruto nacionalnem dohodku. S še večjim deležem, vsaj trikrat večjim, je gradbena dejavnost, uporaba stavb, vzdrževanje in rušenje objektov zastopano pri porabi energije, porabi razpoložljivih surovin in pridelanih odpadkih. Znatni deleži omenjenih porab nastopajo po izgradnji objektov in jih načeloma v analizah oblikovanja in projektiranja ne zajemamo, kar tudi ni v nasprotju s trenutno veljavnimi predpisi in zakonodajo.

V disertaciji želimo določiti povezavo med življenjsko dobo bitumenskih hidroizolacijskih trakov in posredno hidroizolacijskih sistemov, ter vrednotenjem ekonomske učinkovitosti različnih konstrukcijskih sklopov ravnih streh. Za teoretično podporo eksperimentalnemu testiranju bitumenskih trakov pri povišani temperaturi in različnih časih izpostavljenosti nam bo služil Arrheniusov zakon pospešenega staranja. Ekonomsko učinkovitost bomo računsko opravljali z metodo neto sedanje vrednosti (NPV) in metodo vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu (LCCA), kjer bomo preučili različne konstrukcijske sklope ravnih streh, vrednotili vplive različnih debelin toplotnih izolacij, upoštevali različna povišanja cene energije, spremembe cen toplotnih izolacij in učinke različno dolgih pričakovanih življenjskih dob.

Bibliographic – Documentalistic Information

UDC	69.059.4:691.16:692(043.3)
Author:	Roman Kunič
Supervisor:	prof. dr. Aleš Krainer
Co-Supervisor:	prof. dr. Boris Orel
Naslov:	Planning an assessment of the impact of accelerated ageing of bituminous sheets on constructional complexes
Notes:	194 p., 11 tab., 24 graph., 12 fig., 15 eq.
Key words:	Service Life, Accelerated Testing, Accelerated Ageing, Arrhenius Low, Arrhenius Equation, Activation Energy, Ageing of Bituminous Sheets, Life Cycle Assessment – LCA, Life Cycle Cost Assessment – LCCA, Net Present Value – NPV, Life Cycle Assessment of Flat Roofs

Abstract

Increasing intensive impacts of society on the environment encourage awareness and indicate requirements of energy savings and environmental protection. Since the beginning of the industrial revolution, global economy has been supported by relatively cheap energy, raw materials and other resources. In the 21st century, global economy will be driven by energy savings, eco-design, remanufacturing, reuse, repair and recycling.

Construction industry represents more than 10 % of the gross national income in all countries as well as on the global level. The building industry and activities, operation, maintenance and demolition of buildings is represented with an even larger part, at least three times more, in energy use, use of raw materials and production of waste. A considerable part of these uses occur after the finalisation of construction and are usually not included in the design and planning analysis, which is not in contradiction with currently valid standards and regulations.

The primary objective of the thesis is to define the connection between the service life of bituminous sheets and indirectly waterproof insulation systems and the economical efficiency assessment of different flat roof constructional complexes. The Arrhenius law of accelerated testing will be used as theoretical support to experimental testing of bituminous sheets at high temperature and different exposure times. The economical efficiency analysis will be modelled by the Net Present Value method (NPV) and the Life Cycle Cost Assessment method (LCCA), where different flat roof constructional complexes will be examined, impacts of different thermal insulation thicknesses will be assessed, rise of energy prices will be considered, as well as different prices of thermal insulation and impacts of different service life periods.

ZAHVALE

Za izkazano zaupanje, že iz časov mojega dodiplomskega, diplomskega in magistrskega študija, ter poklicnega dela v industriji gradbenih izolacij, za neprecenljivo strokovno vodstvo pri izdelavi doktorske disertacije se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Alešu Krainerju.

Somentorju prof. dr. Borisu Orlu se zahvaljujem za ključno idejo vsebine disertacije, za pomoč pri reševanju fizikalno-kemičnih teoretičnih podlag in interpretacijo ter znanstveno podlago eksperimentalnih meritev spektralnih analiz.

Zahvaljujem se gospe Heleni Spreizer iz Kemijskega inštituta v Ljubljani za pomoč pri meritvah in vrednotenju rezultatov spektralnih analiz, gospe Valentini Oprčkal iz podjetja FRAGMAT TIM pa za eksperimentalne laboratorijske meritve.

Vsem, ki niste omenjeni in ste mi posredovali mnenja, strokovne nasvete in usmeritve se zahvaljujem za vaš čas in pripravljenost za nesebično sodelovanje.

Hvala staršem, ki so me v času mojega študija in dela podpirali in spodbujali.

Prisrčna hvala ženi Karmen in sinu Petru za vzpodbudo, oporo in veliko razumevanja.

Roman Kunič

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION	VI
ZAHVALE	VII
KAZALO VSEBINE.....	VIII
KAZALO PREGLEDNIC.....	X
LIST OF TABLES	X
KAZALO GRAFIKONOV	XI
LIST OF GRAPHS	XII
KAZALO SLIK.....	XIII
LIST OF PICTURES.....	XIII
KAZALO PRILOG	XIV
OZNAKE, SIMBOLI, ENOTE IN OKRAJŠAVE.....	XV
1 UVOD	1
1.1 Grafični prikaz vsebine.....	4
2 CELOSTNO NAČRTOVANJE IN OBLIKOVANJE	5
2.1 Proizvodno – potrošniški cikel	5
2.2 Celostno načrtovanje	6
2.2.1 Življenjska doba materialov in sistemov v gradbeništvu	9
2.2.2 Poraba energije in odnos do okolja	13
2.2.3 Okoljska etika in trajnostno varovanje okolja	19
2.2.4 Energetska bilanca	19
2.2.5 Ekološka bilanca	20
2.2.6 Vsebovana energija (<i>Embodied Energy - EE</i>).....	20
2.3 Standardi s področja okoljevarstva in določevanja življenjskih dob.....	22
2.4 Vrednotenje življenjskega ciklusa (<i>Life Cycle Assessment - LCA</i>)	25
2.4.1 Inženiring življenjskega ciklusa (<i>Life Cycle Engineering - LCE</i>).....	26
3 VREDNOTENJE STARANJA IN NAPOVEDOVANJE ŽIVLJENJSKE DOBE.....	27
3.1 Zgodovinski pregled določevanja življenjske dobe	27
3.1.1 Arrheniusov zakon	27
3.1.2 Aktivacijska energija	35
3.2 Simulacijske analize	39
3.2.1 Deterministično določevanje življenjske dobe	41
3.2.2 Probabilistično določevanje življenjske dobe.....	41
3.3 Pospešeno staranje.....	42
4 TESTIRANJE POSPEŠENEGA STARANJA, DOLOČEVANJE IN NAPOVEDOVANJE ŽIVLJENJSKE DOBE	48
4.1 Testiranja pospešenega staranja bitumenskega traku <i>IZOTEM</i>	48
4.1.1 Določitev mejne vrednosti funkcionalnosti	49
4.1.2 Določevanje upogljivosti pri nizkih temperaturah	50
4.1.3 Spektralna analiza.....	51
4.1.4 Ovrednotenje rezultatov meritev	52
4.2 Testiranja pospešenega staranja bitumenskega traku <i>IZOTEKT</i>	64
4.2.1 Ovrednotenje rezultatov meritev	64

5 EKONOMSKO VREDNOTENJE STROŠKOV V ŽIVLJENJSKEM CIKLUSU	65
5.1 Ekonomski kazatelji	65
5.1.1 <i>Projekt</i>	65
5.1.2 <i>Ekonomska doba</i>	65
5.1.3 <i>Cenovna elastičnost in elastičnost razmerja</i>	66
5.1.4 <i>Diskontiranje in diskontna stopnja</i>	66
5.1.5 <i>Točka preloma (Break Even Point - BEP)</i>	67
5.1.6 <i>Finančna interna stopnja donosnosti (Internal Rate of Return - IRR)</i>	67
5.1.7 <i>Metoda vračilnega obdobja (Pay Back Period - PBP)</i>	68
5.1.8 <i>Oportunitetni stroški</i>	69
5.1.9 <i>Scenarijska analiza</i>	69
5.1.10 <i>Študija izvedljivosti (Feasibility Study)</i>	69
5.1.11 <i>Verjetnostna analiza tveganj</i>	70
5.1.12 <i>Analiza občutljivosti</i>	70
5.1.13 <i>Vrednotenje stroškov in koristi (Cost Benefit Analysis - CBA)</i>	71
5.1.14 <i>Neto sedanja vrednost (Net Present Value - NPV)</i>	72
5.2 Vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu (Life Cycle Cost Assessment - LCCA).....	74
6 PRIMERI VREDNOTENJA STROŠKOV V ŽIVLJENJSKEM CIKLUSU RAZLIČNIH KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV RAVNIH STREH.....	76
6.1 Opis računskih primerov	76
6.1.1 <i>Analizirani primeri konstrukcijskih sklopov ravnih streh</i>	78
6.1.2 <i>Robni pogoji in predpostavke</i>	81
6.1.3 <i>Pomožni izračuni v tabelarni in grafični obliki</i>	83
6.2 Rezultati in njihovo vrednotenje	87
6.2.1 <i>Toplotne izgube na enoto površine ravne strehe</i>	87
6.2.2 <i>Vpliv izbire konstrukcijskega sklopa ravne strehe</i>	88
6.2.3 <i>Vpliv debeline toplotne izolacije ali vpliv dodatnega vložka v toplotno izolacijo</i>	90
6.2.4 <i>Vpliv cene energije</i>	91
6.2.5 <i>Vpliv cene toplotnih izolacij</i>	92
6.2.6 <i>Vpliv pričakovane življenjske dobe</i>	93
6.2.7 <i>Ovrednotenje vpliva nove vakuumske toplotne izolacije</i>	95
6.3 Sklepi vrednotenja stroškov konstrukcijskih sklopov ravnih streh in kritična ocena	96
6.4 Piramida stroškov v življenjskem ciklusu stavb	100
7 POVZETEK.....	103
8 SUMMARY	106
LITERATURA IN VIRI	1
Uporabljeni viri	1
Ostali viri	5
Standardi, pravilniki in tehnični predpisi s področja obravnavanih tem	9
PRILOGE.....	13

KAZALO PREGLEDNIC

PREGLEDNICA 1: VPLIVI NA OKOLJE	16
PREGLEDNICA 2: KAZALCI ONESNAŽENOSTI IN VPLIVA NA OKOLJE	18
PREGLEDNICA 3: VREDNOSTI VSEBOVANE ENERGIJE ZA NEKATERE GRADBENE MATERIALE	21
PREGLEDNICA 4: VREDNOSTI ZA PLINSKO KONSTANTO R	29
PREGLEDNICA 5: VREDNOSTI AKTIVACIJSKE ENERGIJE ZA NEKATERE MATERIALE	37
PREGLEDNICA 6: VREDNOSTI AKTIVACIJSKE ENERGIJE ZA NEKATERE KEMIJSKE VEZI	38
PREGLEDNICA 7: AKTIVACIJSKA ENERGIJA BITUMENSKEGA TRAKU IZOTEM	60
PREGLEDNICA 8: EKSTRAPOLACIJA POSPEŠENEGA STARANJA NA KRAJŠA ČASOVNA OBDOBJA	62
PREGLEDNICA 9: EKSTRAPOLACIJA POSPEŠENEGA STARANJA NA DALJŠA ČASOVNA OBDOBJA	62
PREGLEDNICA 10: IZRAČUN EKONOMSKEGA VREDNOTENJA STROŠKOV V ŽIVLJENJSKEM CIKLUSU RAVNIH STREH	84
PREGLEDNICA 11: IZRAČUN EKONOMSKEGA VREDNOTENJA STROŠKOV V ŽIVLJENJSKEM CIKLUSU RAVNIH STREH – PRIKAZ ZA RAZLIČNE DEBELINE TOPLOTNE IZOLACIJE	85

LIST OF TABLES

TABLE 1: IMPACTS ON ENVIRONMENT	16
TABLE 2: MARKS OF POLLUTION AND IMPACTS ON ENVIRONMENT	18
TABLE 3: VALUES OF EMBODIED ENERGY FOR SOME CONSTRUCTION MATERIALS	21
TABLE 4: VALUES OF GAS CONSTANT R	29
TABLE 5: VALUES OF ACTIVATION ENERGY FOR SOME MATERIALS	37
TABLE 6: VALUES OF ACTIVATION ENERGY FOR SOME CHEMICAL LINKS	38
TABLE 7: ACTIVATION ENERGY OF BITUMINOUS SHEET IZOTEM	60
TABLE 8: EXTRAPOLATION OF ACCELERATED AGEING ON SHORTER TIME PERIODS	62
TABLE 9: EXTRAPOLATION OF ACCELERATED AGEING ON LONGER TIME PERIODS	62
TABLE 10: CALCULATION OF ECONOMICAL ASSESSMENT COSTS IN LIFE CYCLE	84
TABLE 11: CALCULATION OF ECONOMICAL ASSESSMENT COSTS IN LIFE CYCLE – DIFFERENT THERMAL INSULATION THICKNESSES ARE PRESENTED	85

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: PRIMER, KO STA KONSTANTI A ENAKI.....	31
GRAFIKON 2: PRIMER, KO STA AKTIVACIJSKI ENERGIJI E_A ENAKI	32
GRAFIKON 3: PRIMER, KO STA KONSTANTI A IN AKTIVACIJSKI ENERGIJI E_A RAZLIČNI	32
GRAFIKON 4: SPEKTRALNA ANALIZA STARANJA BITUMENSKEGA TRAKU IZOTEM (OBMOČJE OD 4000 - 400 cm^{-1}). IR SPEKTRI VSEH PREIZKUŠENIH VZORCEV.....	53
GRAFIKON 5: SPEKTRALNA ANALIZA STARANJA BITUMENSKEGA TRAKU IZOTEM (OBMOČJE OD 2000 - 400 cm^{-1}). IR SPEKTRI VSEH PREIZKUŠENIH VZORCEV.....	54
GRAFIKON 6: SPEKTRALNA ANALIZA STARANJA BITUMENSKEGA TRAKU IZOTEM (OBMOČJE OD 1200 – 930 cm^{-1}). IR SPEKTRI VSEH PREIZKUŠENIH VZORCEV.....	55
GRAFIKON 7: SPEKTRALNA ANALIZA STARANJA BITUMENSKEGA TRAKU IZOTEM (OBMOČJE OD 4000 - 650 cm^{-1}). IR SPEKTRI VZORCEV USTREZAJO TRETIRANJU VZORCEV PRI NASLEDNJIH POGOJIH: VZOREC 28 (+90 °C, 10 DNI, ČRNA KRIVULJA), VZOREC 31 (+90 °C, 12 DNI, RDEČA KRIVULJA), VZOREC 44 (+80 °C, 16 DNI, ZELENA KRIVULJA), VZOREC 48 (+80 °C, 21 DNI, TEMNO MODRA KRIVULJA) IN VZOREC 58 (NESTARAN VZOREC, SVETLO MODRA KRIVULJA).....	57
GRAFIKON 8: SPEKTRALNA ANALIZA STARANJA BITUMENSKEGA TRAKU IZOTEM (OBMOČJE OD 2000 - 650 cm^{-1}). IR SPEKTRI VZORCEV USTREZAJO TRETIRANJU VZORCEV PRI NASLEDNJIH POGOJIH: VZOREC 28 (+90 °C, 10 DNI, ČRNA KRIVULJA), VZOREC 31 (+90 °C, 12 DNI, RDEČA KRIVULJA), VZOREC 44 (+80 °C, 16 DNI, ZELENA KRIVULJA), VZOREC 48 (+80 °C, 21 DNI, TEMNO MODRA KRIVULJA) IN VZOREC 58 (NESTARAN VZOREC, SVETLO MODRA KRIVULJA).....	58
GRAFIKON 9: SPEKTRALNA ANALIZA STARANJA BITUMENSKEGA TRAKU IZOTEM (OBMOČJE OD 1130 – 930 cm^{-1}). IR SPEKTRI VZORCEV USTREZAJO TRETIRANJU VZORCEV PRI NASLEDNJIH POGOJIH: VZOREC 28 (+90 °C, 10 DNI, ČRNA KRIVULJA), VZOREC 31 (+90 °C, 12 DNI, RDEČA KRIVULJA), VZOREC 44 (+80 °C, 16 DNI, ZELENA KRIVULJA), VZOREC 48 (+80 °C, 21 DNI, TEMNO MODRA KRIVULJA) IN VZOREC 58 (NESTARAN VZOREC, SVETLO MODRA KRIVULJA).....	59
GRAFIKON 10: POSPEŠENO STARANJE BITUMENSKEGA TRAKU IZOTEM	61
GRAFIKON 11: STARANJE BITUMENSKEGA TRAKU IZOTEM V ODVISNOSTI OD TEMPERATURE	63
GRAFIKON 12: NETO SEDANJA VREDNOST STROŠKOV ZA RAZLIČNE KONSTRUKCIJSKE SKLOPE	86
GRAFIKON 13: NETO SEDANJA VREDNOST STROŠKOV ZA RAZLIČNE DEBELINE TOPLOTNIH IZOLACIJ	86
GRAFIKON 14: LETNE TOPLOTNE IZGUBE NA ENOTO POVRŠINE RAVNIH STREH ZA RAZLIČNE DEBELINE TOPLOTNIH IZOLACIJ.....	87
GRAFIKON 15: KUMULATIVNA NPV TOPLOTNIH IZGUB NA ENOTO POVRŠINE RAVNIH STREH ZA RAZLIČNE DEBELINE TOPLOTNIH IZOLACIJ V ŽIVLJENJSKI DOBI.....	88
GRAFIKON 16: ODNOS MED RAZLIČNIMI KONSTRUKCIJSKIMI SKLOPI RAVNIH STREH, DEBELINO TOPLOTNE IZOLACIJE IN NSV KS RS(60).....	89
GRAFIKON 17: ODNOS MED RAZLIČNIMI STROŠKI V ŽIVLJENJSKI DOBI RAVNIH STREH, DEBELINO TOPLOTNE IZOLACIJE IN NSV KS RS(60).....	90
GRAFIKON 18: ODNOS MED CENO ENERGIJE IN EKONOMIČNO DEBELINO TOPLOTNIH IZOLACIJ RAVNIH STREH	92
GRAFIKON 19: ODNOS MED CENO TOPLOTNE IZOLACIJE IN EKONOMIČNO DEBELINO IZOLACIJE RAVNIH STREH	93
GRAFIKON 20: ODNOS MED PRIČAKOVANO ŽIVLJENJSKO DOBO IN EKONOMIČNO DEBELINO IZOLACIJE RAVNIH STREH	94
GRAFIKON 21: ODNOS MED RAZLIČNIMI KONSTRUKCIJSKIMI SKLOPI RAVNIH STREH, DEBELINO VAKUUMSKE TOPLOTNE IZOLACIJE IN NSV KS RS (60).....	95
GRAFIKON 22: ODNOS MED CENO TOPLOTNIH IZOLACIJ, CENO ENERGIJE IN EKONOMIČNO DEBELINO TOPLOTNIH IZOLACIJ RAVNIH STREH.....	97
GRAFIKON 23: ODNOS MED PRIČAKOVANO ŽIVLJENJSKO DOBO, CENO TOPLOTNIH IZOLACIJ IN EKONOMIČNO DEBELINO TOPLOTNIH IZOLACIJ RAVNIH STREH.....	98
GRAFIKON 24: ODNOS MED PRIČAKOVANO ŽIVLJENJSKO DOBO, CENO ENERGIJE IN EKONOMIČNO DEBELINO TOPLOTNIH IZOLACIJ RAVNIH STREH.....	98

LIST OF GRAPHS

GRAPH 1: CONSTANTS A ARE EQUAL	31
GRAPH 2: ACTIVATION ENERGIES E_A ARE EQUAL.....	32
GRAPH 3: BOTH, CONSTANTS A AND ACTIVATION ENERGIES E_A ARE DIFFERENT	32
GRAPH 4: SPECTRAL ANALYSIS OF AGED BITUMINOUS SHEET IZOTEM.....	53
GRAPH 5: SPECTRAL ANALYSIS OF AGED BITUMINOUS SHEET IZOTEM.....	54
GRAPH 6: SPECTRAL ANALYSIS OF AGED BITUMINOUS SHEET IZOTEM.....	55
GRAPH 7: SPECTRAL ANALYSIS OF AGED BITUMINOUS SHEET IZOTEM (FROM 4000 TO 650 cm^{-1}). IR SPECTRA CORRESPONDS TO TREATMENTS UNDER THE FOLLOWING CONDITIONS: SAMPLE 28 (+90 °C, 10 DAYS, BLACK LINE), SAMPLE 31 (+90 °C, 12 DAYS, RED LINE), SAMPLE 44 (+80 °C, 16 DAYS, GREEN LINE), SAMPLE 48 (+80 °C, 21 DAYS, DARK BLUE LINE) AND SAMPLE 58 (NO ACCELERATED AGEING, LIGHT BLUE LINE)	57
GRAPH 8: SPECTRAL ANALYSIS OF AGED BITUMINOUS SHEET IZOTEM (FROM 2000 TO 650 cm^{-1}). IR SPECTRA CORRESPONDS TO TREATMENTS UNDER THE FOLLOWING CONDITIONS: SAMPLE 28 (+90 °C, 10 DAYS, BLACK LINE), SAMPLE 31 (+90 °C, 12 DAYS, RED LINE), SAMPLE 44 (+80 °C, 16 DAYS, GREEN LINE), SAMPLE 48 (+80 °C, 21 DAYS, DARK BLUE LINE) AND SAMPLE 58 (NO ACCELERATED AGEING, LIGHT BLUE LINE)	58
GRAPH 9: SPECTRAL ANALYSIS OF AGED BITUMINOUS SHEET IZOTEM (FROM 1130 TO 930 cm^{-1}). IR SPECTRA CORRESPONDS TO TREATMENTS UNDER THE FOLLOWING CONDITIONS: SAMPLE 28 (+90 °C, 10 DAYS, BLACK LINE), SAMPLE 31 (+90 °C, 12 DAYS, RED LINE), SAMPLE 44 (+80 °C, 16 DAYS, GREEN LINE), SAMPLE 48 (+80 °C, 21 DAYS, DARK BLUE LINE) AND SAMPLE 58 (NO ACCELERATED AGEING, LIGHT BLUE LINE)	59
GRAPH 10: ACCELERATED AGEING OF BITUMINOUS SHEET IZOTEM.....	61
GRAPH 11: AGEING OF BITUMINOUS SHEET IZOTEM IN RELATION TO TEMPERATURE.....	63
GRAPH 12: NET PRESENT VALUE OF DIFFERENT FLAT ROOF CONSTRUCTIONAL COMPLEXES	86
GRAPH 13: NET PRESENT VALUE OF DIFFERENT THERMAL INSULATION THICKNESSES	86
GRAPH 14: YEARLY THERMAL LOSSES THROUGH FLAT ROOFS IN RELATION TO DIFFERENT THERMAL INSULATION THICKNESSES	87
GRAPH 15: CUMULATIVE NPV OF THERMAL LOSSES THROUGH FLAT ROOFS IN RELATION TO DIFFERENT THERMAL INSULATION THICKNESS FOR THE ENTIRE LIFE CYCLE	88
GRAPH 16: RELATION BETWEEN DIFFERENT FLAT ROOF CONSTRUCTIONAL COMPLEXES, THICKNESS OF THERMAL INSULATION AND NPV OF FLAT ROOF.....	89
GRAPH 17: RELATION BETWEEN DIFFERENT COSTS IN SERVICE LIFE OF FLAT ROOFS, THICKNESS OF THERMAL INSULATION AND NPV OF FLAT ROOF.....	90
GRAPH 18: RELATION BETWEEN ENERGY PRICE AND ECONOMICAL THICKNESS OF FLAT ROOF THERMAL INSULATION	92
GRAPH 19: RELATION BETWEEN THERMAL INSULATION PRICE AND ECONOMICAL THICKNESS OF FLAT ROOFS	93
GRAPH 20: RELATION BETWEEN EXPECTED SERVICE LIFE AND ECONOMICAL THICKNESS OF FLAT ROOF THERMAL INSULATION	94
GRAPH 21: RELATION BETWEEN DIFFERENT FLAT ROOF CONSTRUCTIONAL COMPLEXES, VACUUM THERMAL INSULATION THICKNESS AND NPV OF FLAT ROOFS.....	95
GRAPH 22: RELATION BETWEEN THERMAL INSULATION PRICE, ENERGY PRICE AND ECONOMICAL THICKNESS OF FLAT ROOF THERMAL INSULATION	97
GRAPH 23: RELATION BETWEEN EXPECTED SERVICE LIFE, THERMAL INSULATION PRICE AND ECONOMICAL THICKNESS OF FLAT ROOF THERMAL INSULATION	98
GRAPH 24: RELATION BETWEEN EXPECTED SERVICE LIFE, ENERGY PRICE AND ECONOMICAL THICKNESS OF FLAT ROOF THERMAL INSULATION	98

KAZALO SLIK

SLIKA 1: PROIZVODNO – POTROŠNIŠKI CIKLUS	5
SLIKA 2: ZAHTEVE ZA PROIZVODE IN STORITVE	6
SLIKA 3: MODEL SISTEMA RAVNANJA Z OKOLJEM PO STANDARDU SIST EN ISO 14001	23
SLIKA 4: PEČICA – SUŠILNIK ELEKTROMEHANIKA LABONOVA ST 80	49
SLIKA 5: DOLOČEVANJE UPOGLJIVOSTI BITUMENSKIH TRAKOV PRI NIZKIH TEMPERATURAH	50
SLIKA 6: INFRARDEČI SPEKTROMETER BRUKER IFS 66 / S.....	51
SLIKA 7: TOPLA RAVNA STREHA, BITUMENSKI TRAK Z ZAŠČITNIM POSIPOM (KS1).....	78
SLIKA 8: TOPLA RAVNA STREHA, ZAŠČITA S PRANIM PRODCEM (KS2).....	79
SLIKA 9: OBRNJENA RAVNA STREHA, ZAŠČITA S PRANIM PRODCEM (KS3)	79
SLIKA 10: DUO – KOMBINIRANA RAVNA STREHA, ZAŠČITA S PRANIM PRODCEM (KS4)	80
SLIKA 11: OZELENJENA RAVNA STREHA, EKSTENZIVNA OZELENITEV (KS5).....	80
SLIKA 12: PIRAMIDA STROŠKOV	101

LIST OF PICTURES

FIGURE 1: PRODUCTION – CONSUMPTION CYCLE [ASSIMOW 1962]	5
FIGURE 2: DEMANDS FOR PRODUCTS AND SERVICES [KÖHL ET AL. 2004].....	6
FIGURE 3: ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM MODEL SIST EN ISO 14001	23
FIGURE 4: OVEN – DRYER ELEKTROMEHANIKA LABONOVA ST 80.....	49
FIGURE 5: DETERMINATION OF BITUMINOUS SHEETS FLEXIBILITY AT LOW TEMPERATURES.....	50
FIGURE 6: INFRARED SPECTROMETER BRUKER IFS 66 / S.....	51
FIGURE 7: THERMAL INSULATED FLAT ROOF, SHEET PROTECTION WITH MINERAL-SURFACE.....	78
FIGURE 8: THERMAL INSULATED FLAT ROOF, LOAD BEARING - PROTECTION WITH GRAVEL FILL	79
FIGURE 9: INVERTED FLAT ROOF, PROTECTION WITH GRAVEL FILL	79
FIGURE 10: COMBINED DUAL OR PLUS FLAT ROOF, PROTECTION WITH GRAVEL FILL.....	80
FIGURE 11: FLAT GREEN ROOF, EXTENSIVE VEGETATION.....	80
FIGURE 12: PYRAMID OF COSTS.....	101

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: REZULTATI TESTIRANJA POSPEŠENEGA STARANJA BITUMENSKIH TRAKOV PO METODI UPOGLJIVOSTI PRI NIZKIH TEMPERATURAH

PRILOGA B: GRAFI SPEKTRALNIH ANALIZ BITUMENSKIH TRAKOV

PRILOGA C: PRIMERI IZRAČUNOV EKONOMSKEGA VREDNOTENJA STROŠKOV V ŽIVLJENJSKEM CIKLUSU SISTEMOV RAVNIH STREH

PRILOGA D: PRIMERI GRAFIČNIH PONAZORITEV REZULTATOV EKONOMSKEGA VREDNOTENJA STROŠKOV V ŽIVLJENJSKEM CIKLUSU RAVNIH STREH

OZNAKE, SIMBOLI, ENOTE IN OKRAJŠAVE

Oznaka, kratica	Opis ali razlaga	Izraz v angleščini
AET	Test izpostavitve pospešenega staranja	Accelerated Exposure Test
ALT	Testiranje pospešenega staranja	Accelerated Life Testing
ATR	Metoda spektroskopije z oslavljenim popolnim odbojem	Attenuated Total Reflectance
BEP	Točka preloma	Break Even Point
CBA	Vrednotenje stroškov in koristi	Cost and Benefit Analysis
CF	Denarni tok	Cash Flow
EN	Evropske norme – standardi	European Norms
IPP	Izotaktični polipropilen	Isotactic Polypropylene
IR	Infra rdeči spekter (750 nm – 1 mm)	Infrared Spectrum
IRR	Finančna interna stopnja donosnosti	Internal Rate of Return
ISO	Mednarodna organizacija za standarde	International Standard Organization
LCA	Vrednotenje življenjskega ciklusa	Life Cycle Assessment
LCC	Stroški v življenjskem ciklusu	Life Cycle Costing
LCCA	Vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu ali vseživljenjsko vrednotenje stroškov	Life Cycle Cost Analysis (Assessment)

(se nadaljuje)

(..... nadaljevanje)

Oznaka, kratica	Opis ali razlaga	Izraz v angleščini
LCE	Inženiring življenjskega ciklusa	Life Cycle Engineering
LCI	Inventura življenjskega ciklusa ali popis življenjskega ciklusa	Life Cycle Inventory analysis
NPV	Neto sedanja vrednost	Net Present Value
NSV KS	Neto sedanja vrednost vseh stroškov v življenjski dobi konstrukcijskega sklopa	-
PBP	Metoda vračilnega obdobja	Pay Back Period
PC	Kriterij performanse	Performance Criterion
PLC	Življenjska doba izdelka ali storitve	Product Life Cycle
PMB	S polimernimi dodatki modificiran bitumen	Polymer Modified Bitumen
R	Zanesljivost	Reliability
RSL	Referenčna življenjska doba	Reference Service Life
SL	Življenjska doba	Service Life
SLP	Določevanje pričakovane življenjske dobe	Service Lifetime Prediction
WL	Doba obratovanja	Working Life

Oznaka, simbol	Opis, razlaga ali vrednost	Enota
A	Faktor ponovitve ali faktor frekvence določene reakcije oziroma materiala	1 / s
a_T	Koeficient pospešitve staranja zaradi degradacije ob povišani temperaturi	-
E	Koeficient elastičnosti	-
E_a	Aktivacijska energija	J / mol
h	Planckova konstanta, $h = 6,6260693 \times 10^{-34}$ J·s	J · s
k	Specifična stopnja reakcije ali faktor hitrosti reakcije	1 / s
k_B	Stefan - Boltzmannova konstanta, $k = 1.380\ 6505(24) \times 10^{-23}$ J / K	J / K
R	Plinska konstanta, $R = 8.314472$ J · K ⁻¹ · mol ⁻¹	J / (K · mol)
t	Čas	s, min, h, dan, leto
T	Temperatura	°C, K
T_{eff}	Efektivna – srednja temperatura idealnega pospešenega staranja	°C, K
τ	Čas do degradacije	s, min, h, dan, leto

1 UVOD

Gradbeništvo, industrija gradbenih materialov in sistemov, skupaj z vgradnjo, operativo in vzdrževanjem predstavlja velik del gospodarske aktivnosti in pomemben delež privatne in družbene lastnine. Odločitve v industriji gradbenih materialov in storitvah gradbene operative naj bodo planirane, gradbena dejavnost vnaprej načrtovana, projektno vodena, objekti ekonomično zgrajeni in kasneje, v vseh stopnjah uporabe v smislu dobrega gospodarja, kakovostno vzdrževani. Velik poudarek moramo posvečati tudi varčevanju z neobnovljivimi viri energije, zmanjševanju porabe surovin in drugih resursov, varovanju okolja, planiranju recikliranja in skrbi ter upravljanju z odpadki, ki nastopajo kot rezultat zaključka življenjske dobe ali odstranitve. Vsa ta dejavnost ima izreden vpliv na človekovo okolje, naravo, ekonomski razvoj in celotno gospodarstvo.

Praksa v gradbeništvu, v času gradnje in predvsem v času uporabne dobe objektov, kaže, da obstajajo veliki problemi s trajnostjo in zanesljivostjo materialov, elementov in sistemov. Vse pogosteje odpovedujejo posamezni elementi, nekatere funkcije ali celo celotni sistemi. Na tak način povzročena gospodarska škoda je, tako za objekte visokih, kot tudi za objekte nizkih gradenj, izredno velika. Opažamo tudi, da so življenjske dobe objektov vse krajše, poraba energije ter obremenjevanje okolja pa vse večja.

Pregled preučevane literature pokaže, da na področjih, ki jih zajema predlagana doktorska disertacija, pri nas ni opravljenih mnogo raziskovalnih del in da so te znanstvene teme še dokaj neraziskane; razen raziskave na področju modularnosti in trajnosti konstrukcijskih sklopov [Seliškar 1981] ter analiza proizvodno - potrošniškega ciklusa stavb in konstrukcijskih sklopov [Krainer 1977].

Že dolgo tega je bila v literaturi zabeležena ugotovitev: Življenjska doba stavbe mora v bodoče postati sestavni element projektiranja [Seliškar 1981]. Od takrat nismo naredili veliko, življenjske dobe v postopku načrtovanja ne preverjamo, na voljo nimamo veliko novih podatkov o staranju in obnašanju v času uporabe materialov, konstrukcijskih sklopov ali celotnih objektov.

Zaradi vse večjih pritiskov človeka na okolje in vse večje človekove porabe neobnovljivih virov energije se povečuje zavedanje o trajnostnem pomenu varovanja okolja in poseganju vanj. Ob tem je vse bolj narašča pomen pridobivanja informacij in odločevanja v smislu trajnostnega gospodarjenja z okoljem in objekti v okolju. Najbolj razvite države, ki tudi narekujejo svetovne okoljevarstvene trende, imajo v veljavi že natančno predpisane standarde, predpise in smernice, ki urejajo in ugotavljajo določevanje življenjskih dob, ekonomsko vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu, varovanje okolja ter varčevanje z energijo pri oblikovanju, projektiranju, gradnji, uporabi in odstranitvi vseh objektov visoke in nizke gradnje. Pridobivanje surovin, proizvodnja izdelkov, vgradnja ali montaža, uporaba, predvsem pa odstranitev in skrb za odpadke, so v gradbeništvu okoljsko problematični. Posamezni materiali, ki lahko služijo istemu namenu in so za ta namen podobno učinkoviti, lahko na svoji življenjski poti različno vplivajo na obremenjevanje okolja.

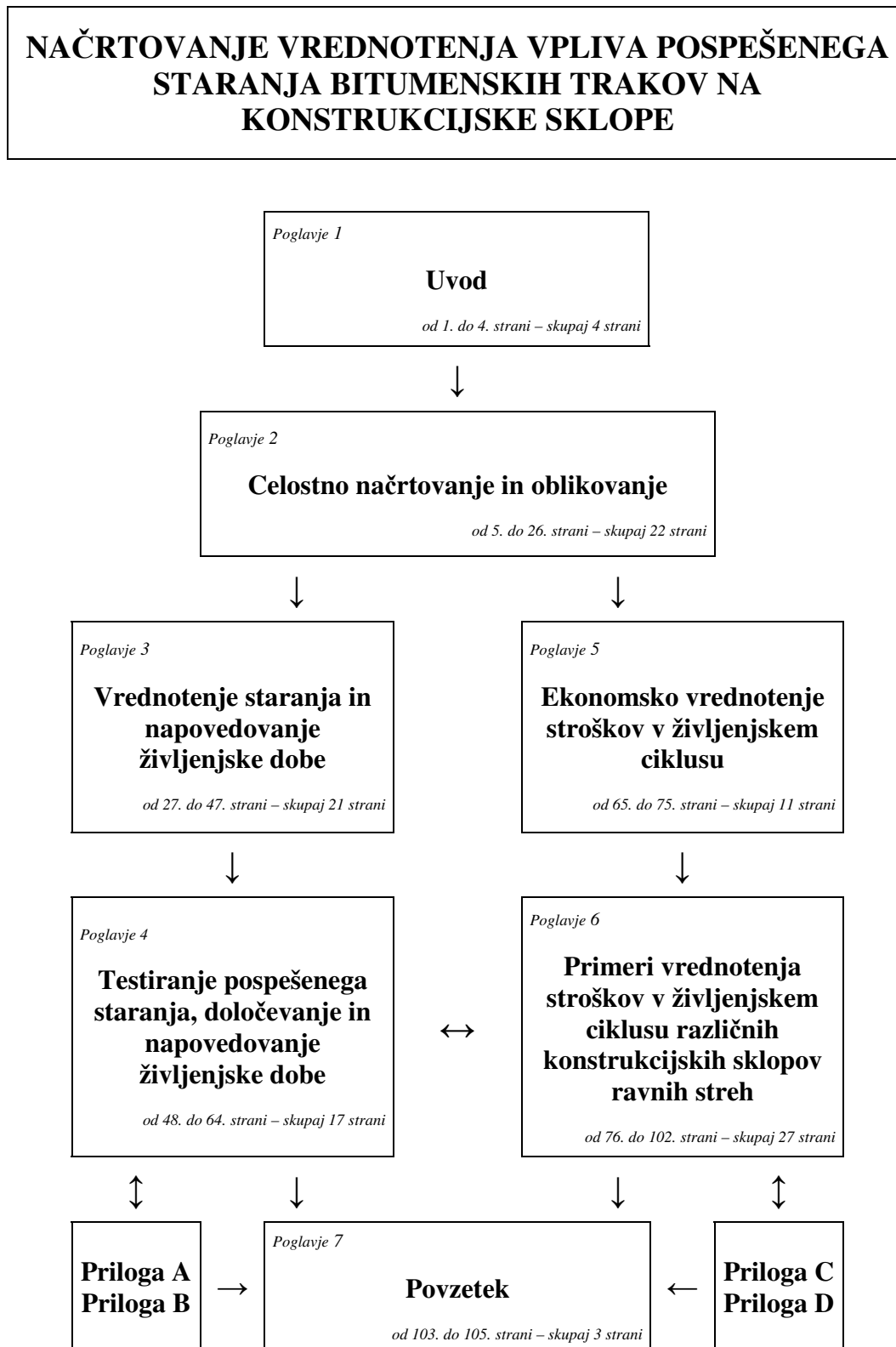
Pospešeno staranje bitumenskih trakov, v skladu z veljavnimi standardi, traja polovico leta pri temperaturi $+70,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Testiranje je izredno dolgo in poteka pri relativno nizki temperaturi, ki ne predstavlja velike obremenitve za večino bitumenskih trakov. Za cilj smo si zadali: določitev takšne temperature pospešenega staranja, ki bi omogočila standardnemu postopku primerljivo pospešeno staranje v krajšem obdobju, na primer v nekaj tednih. V ta namen bi s pomočjo eksperimentalnih meritev pospešenega staranja in pridobljenih rezultatov ob izpostavljenosti na povišano temperaturo z metodo meritve upogljivosti pri nizkih temperaturah in z metodo spektralne analize staranih vzorcev izvedli vrednotenje rezultatov na teoretični in praktični ravni. S pomočjo rezultatov eksperimentalnih meritev bomo izdelali model napovedovanja življenjskih dob bitumenskih trakov in posredno hidroizolacijskih sistemov. Za teoretično osnovo odziva na povišano temperaturo nam bo služil Arrheniusov zakon pospešenega staranja.

Z željo po povezavi med življenjsko dobo in vrednotenjem ekonomske učinkovitosti bo izdelana primerjalna analiza ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu (LCCA) sistemov ravnih streh, kjer smo si za cilj zadali temeljito analizo vplivov različnih konstrukcijskih sklopov in pripravo materiala in instrumentarija za primerjavo ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh. Z vidika stroškov, po metodi neto sedanje vrednosti (NPV), bomo v življenjskem ciklusu primerjali vplive različnih konstrukcijskih sklopov, različnih debelin toplotnih izolacij,

vpliv povišanja cene energije, spremembo cene toplotnih izolacij, učinek izbire novih vakuumskih izolacij in vpliv različno dolgih pričakovanih življenjskih dob.

Ne preseneča dejstvo, da se je v zadnjih letih število raziskav na teoretičnem in uporabnem nivoju, na področjih pospešenega staranja in določevanja življenjskih dob ter vrednotenja življenjskih ciklusov konstrukcijskih sklopov na znanstveni kot tudi na aplikativni ravni, izredno razmahnilo. Prav ta aktualnost in pereča problematika kakovosti materialov, konstrukcijskih sklopov in sistemov v gradbeništvu sta poglavitna razloga, da bi na tem področju naredili raziskovalno delo in z izsledki prispevali k razvoju znanosti ter predvsem zaradi izredne uporabne naravnosti k razvoju industrije, projektive, vgrajevanja in storitev gradbene operative ter tako posledično z rezultati in dognanji koristili investitorjem in uporabnikom.

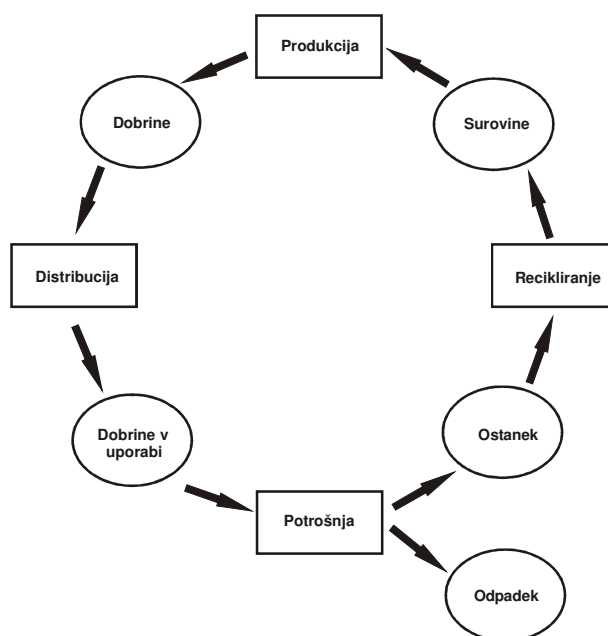
1.1 Grafični prikaz vsebine



2 CELOSTNO NAČRTOVANJE IN OBLIKOVANJE

2.1 Proizvodno – potrošniški cikel

V proizvodno – potrošniškem ciklusu do človekovega vmešavanja ni bilo odpadnih produktov. Ciklus, oziroma celoten krog je bil popolnoma sklenjen. Komponenta, ki je za eno vrsto odpadek ali višek, je za drugo glavna substanca [Seliškar 1981].



Slika 1: Proizvodno – potrošniški cikel
Figure 1: Production – consumption cycle [Assimow 1962]

Življenjsko dobo (Service Life – SL) v proizvodno - potrošniškem ciklusu predstavljata samo dve stopnji, to sta 'dobrine v uporabi' in 'potrošnja', medtem ko za vrednotenje življenjskega ciklusa, oceno ekoloških bilanc ali za oceno stroškov v življenjskem ciklusu upoštevamo in vrednotimo vse stopnje v proizvodno – potrošniškem ciklusu.

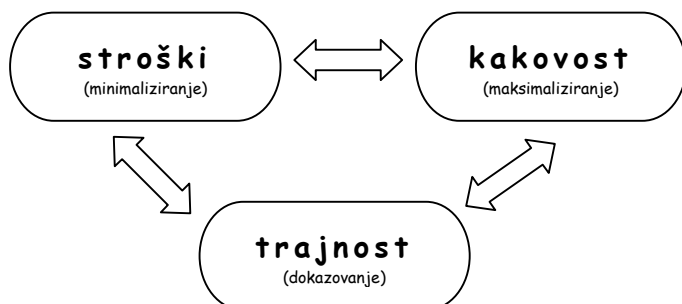
Projekt, ki ne upošteva celotne poti objekta v proizvodno – potrošniškem ciklusu, predstavlja potencialno nevarnost za proizvajalca ali potrošnika, s tem pa tudi za celotno družbo. Načrtovanje mora biti torej kompleksno [Krainer 1977].

2.2 Celostno načrtovanje

Celostno načrtovanje pomeni načrtni pristop k optimizaciji proizvodno – potrošniškega ciklusa stavbe ob hkratnem vzajemnem upoštevanju ekologije, energije, varovanja okolja, arhitekture, gradbene tehnike in ekonomije, za razliko od pojma inženiring, ki pomeni kreativno apliciranje znanstvenih dognanj in tehnike na razvoj, proces ali izdelavo določenega izdelka ali storitve.

Zahteve za proizvode in storitve v sodobnem potrošniškem svetu so [Köhl et al. 2004]:

- minimalni stroški izdelave,
- ustrezen nivo kakovosti proizvoda,
- ustrezen nivo trajnosti za doseganje uspešne in učinkovite uporabe proizvoda.



Slika 2: Zahteve za proizvode in storitve
Figure 2: Demands for products and services [Köhl et al. 2004]

Avtor [Imata 2005] brezkompromisno govori o čim večji kakovosti za čim nižjo ceno in za razliko od avtorjev [Köhl et al. 2004] ne upošteva trajnosti kot kriterij zahtev za proizvode. Največja težava sodobnih materialov v gradbeništvu ni vedno samo zanesljivost in trajnost, ampak vse pogosteje konkurenčna cena za ustrezen nivo kakovosti, zanesljivosti in trajnosti. Da bi se izognili tem težavam, bi morali imeti orodja za dovolj natančno določevanje pričakovanih življenjskih dob materialov, kompozitov, elementov sistema, celotnih naprav, kompleksnih proizvodov ali sistemov [Köhl et al. 2004].

V skladu z literaturo [Krainer 1977 in Köhl et al. 2004] definiramo izraze, ki nastopajo v zvezi z načrtovanjem življenjskih dob:

Kakovost se meri z zmožnostjo materiala, elementa ali proizvoda, služiti želenemu namenu;

Trajnost je lastnost upirati se degradaciji v toku uporabe skozi celotno življenjsko dobo;

Stroški zajemajo začetne investicijske stroške, stroške izdelave, vzdrževanja, stroške kapitala, amortizacije, davkov, financiranja, tveganja in v zadnjem času vse bolj pomembne stroške odstranitve, upravljanja z odpadki, recikliranja in varovanja okolja;

Življenjska doba (Service Life – SL) je definirana kot časovno obdobje uporabe materiala, posamezne komponente ali proizvoda, od njegove vgraditve do stopnje, ko določene lastnosti dosežejo minimalne, vendar mejne, še sprejemljive lastnosti;

Ekonomska življenjska doba je tista življenjska doba, ki se kupcu in proizvajalcu v določenem ekonomskem okolju najbolj izplača.

Objekti ne morejo biti izvzeti iz okolja v katerem so nameščeni, ampak nasprotno: vključeni so v prostor kot celoto, okoljsko, prostorsko, zgodovinsko in kulturno celoto. Visokogradni in nizkogradni objekti imajo kot umetno ustvarjeno okolje ogromen vpliv na okolje, biotope in naravni ekološki sistem. Vsak gradbeni objekt je enkrat in neponovljiv. V kolikor so si medsebojno podobni po obliki in funkcionalnosti, so drugačni po prostorski umestitvi v okolje. Za razliko od širokopotrošnih dobrin so gradbeni objekti načrtovani za znatno daljše časovno obdobje, poleg tega so v večini primerov kompleksnejši in obsežnejši od mnogih še tako visoko tehnoloških proizvodov. Prav zato je vrednotenje celostnega načrtovanja in oblikovanja gradbenih materialov in sistemov nujno za celotno življenjsko obdobje [Itonaga 2005].

Trajnostna stavba je tista, ki je oblikovana na tak način, da [Murakami 2005]:

- varčuje z energijo in drugimi resursi, reciklira materiale, znižuje emisije toksičnih snovi skozi celoten proizvodno – potrošniški cikel,
- je v harmoniji – sozvočju z lokalno klimo, tradicijo gradnje, kulturo in okolico,
- je sposobna trajno izboljševati kakovost bivanja in hkrati vzdrževati ekološko bilanco na lokalni in globalni ravni.

Arhitektonske metode, ki uporabljajo direktno sončno sevanje, dnevno svetlobo, naravno ventilacijo in imajo namen izboljšanja toplotno izolacijskih lastnosti zunanjih sten, streh, tal in oken, se imenujejo metode 'pasivne arhitekture', za razliko od sistemov, ki s pomočjo različnih naprav izboljšujejo učinkovitost uporabe fosilnih goriv – metoda 'aktivne arhitekture' [Kodama 2005 in Ikaga 2005]. Iz slednjega lahko sklepamo, kako dobro ustreza uporaba imena 'pasivna hiša' za izredno varčno hišo, saj v takšni stavbi brez naprav in dovajanja energije, torej brez aktivnega poseganja ali dovajanja, ni omogočeno niti prezračevanje, še manj pa ogrevanje ali regulacija. Veliko primernejši je izraz 'nizkoenergetska hiša', ob hkratni navedbi porabe energije, bodisi absolutne porabe ali relativne porabe na enoto stanovanjske površine, kot tudi druge, s stališča ekologije, varčevanja z energijo in okoljem relevantne podatke.

Pasivna hiša je tako koncipirana, da ne potrebuje nobenih do sedaj uporabljenih sistemov ogrevanja. V kolikor so takšna ogrevala uporabljena so dimenzionirana za znatneje manjšo kapaciteto. Potreba po ogrevanju je v velikem deležu pokrita z energijo, ki jo oddajajo ljudje, aparati in oprema. Velik prihranek energije je dosežen s kontroliranim prezračevanjem, torej z vračanjem toplote odpadnega zraka, ko za segrevanje vstopnega zraka uporabimo kar 80 % do 95 % toplotne energije izstopnega zraka. Pasivna hiša ni omejena na določen tip stavbe. Lahko jo uporabimo za samostojno, vrstno ali blokovno stanovanjsko stavbo, kot tudi za poslovne in javne stavbe. Po definiciji je to stavba, ki ima obodne stene izolirane z $U < 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, površinska temperatura notranjih sten je vedno nad $17 \text{ }^\circ\text{C}$, vgrajena okna imajo toplotno prehodnost $U < 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in celotna letna poraba energije ni večja kot $15 \text{ kWh}/\text{m}^2$, kar ustreza približno 1,5 litra ekstra lahkega kurilnega olja za vsak kvadratni meter (m^2) ogrevane površine v celotni kurilni sezoni, zrakotesnost $n_{50} < 0,60 / \text{h}$, moč ogrevalne naprave manjša od $10 \text{ W}/\text{m}^2$ in letna poraba po primarni energiji, skupaj z vsemi električnimi porabniki manjša kot $120 \text{ kWh}/\text{m}^2$ [Feist 1996].

2.2.1 Življenjska doba materialov in sistemov v gradbeništvu

Trajnost materialov, sistemov in proizvodov je lastnost, ki jo izkažejo proizvodi med upiranjem procesom staranja, povzročena zaradi zunanjih vplivov okolja. Le-ti v času uporabe vplivajo na kakovost materialov, komponent ali proizvodov. Velikokrat nam poznan čas trajanja elementov ni rezultat dolgoročnega znanstvenega raziskovanja, temveč rezultat ocen in izkušenj [Seliškar 1982].

Staranja ni mogoče preprečiti, mogoče pa ga je zavreti. V principu naj bi bili sklopi z najdaljšo življenjsko dobo tisti, katerih zamenjava je nemogoča ali skoraj nemogoča [Seliškar 1982].

Poznamo funkcionalno in fizično trajnost. Funkcionalna dotrajanost je hitrejša od fizične (materialne) dotrajanosti in jo je glede na fizično dotrajanost tudi težje določiti. V preteklosti so objekti desetletja in desetletja, celo stoletja uspešno opravljali svojo funkcijo, za katero so bili zgrajeni. V današnjem svetu pa nastopa problem hitre funkcionalne zastarelosti. Danes so praktično nove stavbe zastarele in neuporabne za opravljanje funkcije, za katero so bile zgrajene. Še bolj drastični primeri so v industriji [Seliškar 1982].

Proizvodni stroški se letno znižujejo po stopnji 3 % do 4 %. Vzrok temu so racionalizacije, avtomatizacije, robotizacije in cenejša delovna sila v tretjih državah. Kar samo se poraja vprašanje: Kako dolgo se ta trend lahko nadaljuje? V storitvenem sektorju že dolgo ni moč dosegati zniževanje stroškov, ampak prav nasprotno [Johansson 1997].

Glavna tehnična orodja za izboljšavo življenjske, ekonomske in energetske učinkovitosti so [Kodama 2005]:

- ekonomsko vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu LCCA (stran 65, poglavje 5 – Ekonomsko vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu),
 - karakteristike gradbenih materialov in sistemov,
 - standardi gradbene izvedbe.
-

Karakteristike gradbenih materialov in sistemov so izredno pomembne in odločitve o pravilni izbiri temeljijo na primerjavi tipične življenjske dobe. Pri standardih gradbene izvedbe nas predvsem zanima celostno oblikovanje stavb. Parameter, ki je vse bolj pomemben je na primer letna poraba energije na enoto površine (enota: kWh/m² na leto, v praksi pogosto srečujemo tudi enoto litrov ekstra lahkega kurilnega olja na enoto ogrevane stanovanjske površine na leto), ki bi ga s pridom morali uporabljati [Iwamura 2005]:

- javni in privatni zagovorniki projekta,
- lastniki, prodajalci, kupci, najemniki in uporabniki stavb: enostavno določanje energetske učinkovitosti stavb in posledična pretvorba v stroške vzdrževanja objekta, ter na ta način omogočena primerjava med projekti in ovrednotenje bodočih stroškov,
- arhitekti, gradbeniki, energetiki in oblikovalci: standardi učinkovitosti omogočajo kreativno izbiro optimalne rešitve med aktivnimi in pasivnimi tehnologijami,
- izvajalci, ki vodijo gradnjo v skladu z načrti, stroko in z razpoložljivimi finančnimi sredstvi,
- člani lokalne komune, vključno z uporabniki in sosedi stavbe,
- vladni uslužbenci v smeri sprememb urbanega načrtovanja, predpisov o graditvi objektov in koordinaciji z lokalnimi prebivalci.

Tveganje in negotovost pri celostnem načrtovanju in oblikovanju stavb se pojavlja zaradi [Kodama 2005]:

- novih in inovativnih tehnologij,
- bodočih sprememb na trgu (trg nepremičnin, cena energije, stroškov varovanja okolja, predelav in deponij),
- vpliva bodočih novih tehnologij, ki jih je izredno težko vnaprej predvideti.

Celostno oblikovanje ima največji vpliv na stopnji planiranja, to je na stopnji, ko je določeni projekt tudi stroškovno najcenejši. Na zgodnji stopnji planiranja in procesa oblikovanja moramo evidentirati vse ključne parametre, za razliko od ustaljene prakse,

ko se v procesu planiranja in izgradnje osredotočimo samo na stroške gradnje in organizacije gradnje, žal redkeje na stroške obratovanja, tekoče vzdrževanje, zamenjave in investicijsko vzdrževanje, praktično nikoli pa na celotno življenjsko dobo, bodisi na uporabno, projektirano ali napovedovano življenjsko dobo, kot tudi ne na stroške odstranitve, recikliranja in upravljanja z odpadki [Köhl et al. 2004].

Celostno načrtovanje kot pristop k reševanju kompleksnih problemov temelji na [Krigsvoll et al. 2005]:

- celoviti študiji problema: tehnični, finančni, okoljski, socialni, oblikovni in estetski,
- visoki stopnji komunikacije med člani skupine celostnega oblikovanja,
- dolgoročni študiji celotnega življenjskega ciklusa stavbe z upoštevanjem stroškov cene izgradnje, prenove, razgradnje in deponiranja ter upravljanja z odpadki.

Taisti avtor [Krigsvoll et al. 2005] definira tudi splošne pogoje celostnega načrtovanja:

- arhitekturni (prostorska organizacija, estetika, funkcionalnost, fleksibilnost),
- tehnični (zakoni, predpisi in standardi, varnost, trajnost, performanse, vzdrževanje),
- ekonomski (stroški investicije, obratovanja in vzdrževanja, stroški v življenjskem krogu stavbe).

Z energetskega stališča je napačno pristopanje na način: ker je funkcionalna zastarelost objekta relativno hitra, vgradimo v objekt takšne materiale in sisteme, ki brez težav opravljajo svojo nalogo do izteka funkcionalnosti objekta, ko objekt tudi porušimo. Takšno početje pripelje do življenjskih dob objektov le nekaj desetletij in do izrazite energetske potratnosti, kar opisujejo tudi mnogi ameriški in japonski strokovni viri. Poleg tega so tudi kasneje, v kolikor želimo podaljšati življenjsko dobo stavb, nameravane prenove ali adaptacije finančno in tehnološko zelo zahtevne.

Da bi pridobili čim boljše sliko obnašanja v naravi, se poslužujemo modeliranja, to je poenostavljanja prikaza realnega pojava v naravi z upoštevanjem gradbene, arhitektonske – oblikovne, fizikalne, kemijske, socialne, kulturne in ekonomske stroke z namenom pojasnitve odnosov med dejavniki, napovedovanje staranja in razvoja ter simuliranje različnih vplivov iz okolja in na okolje samo [Köhl et al. 2004].

Trajnostni kriteriji pri celostnem načrtovanju so v skladu z navedbami avtorja [Krigsvoll et al. 2005] definirani kot:

- varovanje okolja (smotrna raba naravnih virov, zmanjšanje onesnaževanja zraka in vode, zmanjšanje raznovrstnih neprijetnih vplivov med gradnjo),
- zdravje in ugodje (toplotno, zvočno in svetlobno ugodje, kakovost notranjega zraka, kakovost vode),
- ekonomska življenjska doba in socialno-kulturni vidiki.

Oblikovalec je odgovoren za upoštevanje celotnega ciklusa stavbe; od planiranja, gradnje, obratovanja, popravil, vzdrževanja, odstranjevanja in deponiranja. Pri tem mora maksimalizirati vrednost v celotnem življenjskem ciklusu in hkrati minimalizirati stroške in vpliv na okolje. Avtor [Hasegawa 2005] opisuje sindrom 'bolne hiše', ki ima notranjo mikroklimo v prostoru takšno, da je bivanje zdravju škodljivo, kar je posledično tudi vzrok raznim boleznim, kot so alergije, težave z dihalni in podobno. Nezdrave notranje prostore opisujejo avtorji [Rodman et al. 1995 in Bogaki 2005], ki podajajo primere osnovnih šol na Japonskem z resnimi vplivi na fizično in čustveno počutje učencev izpostavljenih slabemu notranjemu okolju.

Zelo težko je vnaprej predvideti bodočo vlogo posamezne stavbe. Cilj je oblikovati takšne stavbe, ki bi omogočale neprekinjeno uporabo bodočim generacijam, brez večjih posegov, adaptacij in rekonstrukcij [Yashiro 2005]. Tudi skoraj nobena stavba ni zgrajena, kakor je bila prvotno načrtovana [Iwamura 2005].

2.2.2 Poraba energije in odnos do okolja

Z okoljem je človek že od nekdaj slabo ravnal, čeprav se je problemov onesnaženja zavedal zgodaj, saj so že grški filozofi, kot sta Platon in Aristotel opozarjala na prekomerno krčenje gozdov. Erozijsko zemlje je povzročala intenzivna sečnja lesa za izdelavo tovornih in bojnih ladij. Človekova stalna želja je bila, da bi se ustalil, si podredil naravo in si pridobil produkte, ki bi mu trajno služili pri zadovoljevanju njegovih potreb. Priča smo nenehnim naporom, delu in različnim raziskavam, ki imajo za svoj cilj preusmeriti naravne sile in naravna bogastva v človeško korist.

Zaskrbljenost o količini razpoložljivih virov je prisotna že od začetka industrijske revolucije, to je od takrat, ko je poraba energije in drugih virov eksplozivno narasla. Trenutna ocena je, da bodo praktično vsi viri pošli v približno petdesetih letih. Sedaj samo 20 % svetovnega prebivalstva porabi kar 80 % celotne količine neobnovljivih virov energije [Yashiro 2005].

Ekonomija in svetovno gospodarstvo je do sedaj slonelo na relativno poceni in ceneni energiji, surovinah in drugih virih, medtem, ko bo svetovna ekonomija 21. stoletja odvisna od ekološkega načrtovanja, recikliranja, ponovne uporabe, ponovne izdelave, popravil in podobno [Nohara 2005].

Gradbeni sektor v svetovnem merilu zaznamuje pravilo štiridesetih odstotkov, ki govori [Kernan et al. 2001 in Gluch 2005]:

1. svetovna gradbena industrija vsako leto porabi 3 milijarde ton materialov, oziroma 40 % celotne svetovne porabe vseh materialov in surovin,
2. tekom gradnje in uporabe gradbeni objekti porabijo približno 40 % vse potrebe po energiji in naravnih virov v svetu,
3. po sklenjenem proizvodno - potrošniškem ciklusu predstavljajo gradbeni odpadki 40 % vseh povzročenih odpadkov na svetu.

Za gradnjo porabimo kar 25 % od celotne svetovne količine posekanega lesa in 17 % vseh potreb po vodnih virih. Samo gradbeništvo pa predstavlja več kot 10 % globalne ekonomske aktivnosti [Athena Institute 2002].

Skozi celotno zgodovino človeštva in v vseh klimatskih conah na zemlji se je ugodna klima v notranjosti prostorov reševala izključno s pomočjo metod pasivne arhitekture, izjema je le uporaba kurišč za ogrevanje in priprave hrane. Šele po letu 1950 je množična distribucija in poraba energije prinesla druge 'aktivne načine', ki so vse bolj in bolj energetsko potratni [Kodama 2005].

Gozd, ki ni vzdrževan, ne nudi dodatne absorpcije ogljikovega dioksida (CO₂), ker stara in odmrla drevesa za gnitje porabljajo kisik, ki ga mlada drevesa pridelujejo s fotosintezo. Tudi zato je dobrodošla uporaba lesa za gradbeništvo [Hasegawa 2005]. Podobno velja tudi za uporabo lesa za namene ogrevanja, kjer s sečnjo omogočimo rast mladih dreves, s tem dodatno absorpcijo ogljikovega dioksida in hkrati s tem zmanjšujemo porabo fosilnih goriv. Les ima kot najbolj ekološki gradbeni material posebno mesto, saj bi se kljub povečanju sečnje za potrebe gradnje ali tudi kurjave, zmanjševala vsebnost CO₂ v ozračju [Hasegawa 2005 in Arima 2005].

Konstrukcijski sklopi iz lesa potrebujejo v fazi proizvodnje, montaže ali vgradnje znatno manj energije, kot taisti sklopi iz armiranega betona ali jekla. Tako ima les najnižjo porabo energije in najmanjše emisije ogljikovega dioksida med vsemi gradbenimi materiali in je tudi popolnoma obnovljiv vir. Marsikdo zmotno misli, da bi se s povečevanjem njegove uporabe krčili gozdovi in večale emisije ogljikovega dioksida. Poraba lesa vzpodbuja gozdarstvo in širjenje gozdov. S tem je povečan učinek ponora ogljikovega dioksida in posledično s tem se zmanjšuje količina ogljikovega dioksida v atmosferi. Ko les odsluži svojemu namenu, ga lahko brez težav uporabimo kot gorivo. Je obnovljiv vir, dragoceni pa so tudi gozdovi, ki delujejo kot ponor ogljikovega dioksida. Pravilno bi bilo, da na izbiro materialov ne bi smela vplivati zgolj cena, ampak je potrebna kritična presoja s celostnega vidika varovanja okolja in vrednotenja življenjskega ciklusa [Athena Institute 2002].

Koncept trajnostnega razvoja se v vedno večji meri uveljavlja v mednarodni skupnosti, v državah članicah EU, in sicer kot razvoj, ki omogoča preživetje tudi bodočim generacijam in poleg skrbi za preprečevanje in zmanjševanje onesnaževanja na viru poudarja tudi manjšo in bolj smotrno rabo naravnih virov ter ohranjanje biotske raznovrstnosti. Na okoljskem področju trajnostni razvoj pomeni organizacijo gospodarstva, infrastrukture, poselitve in načina življenja v okviru nosilne sposobnosti okolja in naravnih virov [NPVO 2004].

Glavna usmeritev za doseganje ciljev 'Nacionalnega programa varstva okolja' je v okviru financiranja že dokaj uveljavljeno temeljno načelo varstva okolja 'načelo plačila za obremenjevanje okolja', torej načelo 'onesnaževalec plača'. Zato program opredeljuje ekonomske instrumente in okoljske dajatve kot osnovni vir sredstev, poleg tega pa določa nadaljnje usmeritve v sistemu financiranja varstva okolja [NPVO 2004].

Vse hujše uničevanje naravnega okolja postaja resna grožnja našemu obstoju in predstavlja jasen poziv vsem odgovornim politikom, podjetnikom, kot tudi vsem drugim državljanom. Zato se v zadnjem času dejavnosti na področjih raziskav, zakonodaje in tudi v obliki raznih gibanj za varstvo okolja izredno hitro širijo. Vremenske spremembe, stopnjevanje vremenskih skrajnosti in onesnaževanje okolja so največje napake tržnega gospodarstva.

Problemi onesnaženja in varstva okolja so zelo kompleksni zato potrebujejo sistematični pristop. Gradbena industrija na vseh stopnjah procesa uporablja tehnološke postopke, rabo proizvodov, rabo energije, rabo pomožnih materialov in odpadkov, ki so okoljsko problematični. Nujno je doseči zavestno odločanje za tiste izdelke, ki v svoji življenjski dobi čim manj obremenjujejo okolje [Kodama 2005]. Zato je potrebno preučiti obremenitve okolja posameznih celovitih produktov ali uslug na celotni življenjski poti in ne samo na posamezni stopnji. Najpogostejša napaka je osredotočenje na proizvodnjo, oziroma v gradbeništvu izključno na proces izgradnje. Vplivi na okolje in čas trajanja teh vplivov je prikazana v preglednici (Preglednica 1) [Owens 2004].

Okolje je v zadnjih nekaj desetletjih postalo onesnaženo v tolikšni meri, da samoregulirni in obnovitveni procesi v naravi niso zadostni. Nujno je potrebno pristopiti k uravnoteženju in sklenitvi proizvodno – potrošniškega ciklusa, smotrnemu načrtovanju energetskih in surovinskih virov. Zato v razvitem svetu že prihaja do zavestnega ter odgovornega ravnanja na področju rabe naravnih virov z integracijo ukrepov materializacije oziroma preprečevanja nastajanja in recikliranja odpadkov, spodbujanja energetske in surovinske manj intenzivnih tehnologij, spodbujanja trajnostne proizvodnje, potrošnje in podobno [NPVO 2004].

Evropska unija in z njo tudi Slovenija je začela uvajati raziskovalne programe in podpirati zakonodajo in regulativo za povečanje učinkovitosti gospodarskega in

družbenega razvoja ob hkratnem zmanjševanju vpliva na okolje in zmanjševanju porabe neobnovljivih virov energije [Akcijski načrt EU 2005].

Preglednica 1: Vplivi na okolje
Table 1: Impacts on environment

Vplivi na okolje se izražajo kot	Vpliv na okolje	Čas trajanja vpliva
globalno ogrevanje okolja	globalno	desetletja / stoletja
krčenje ozonske plasti	globalno	desetletje
tvorba fotokemičnega smoga	regionalno / lokalno	ure / dnevi
kisanje ozračja	kontinentalno / regionalno	ure (akutno), desetletje (kronično)
kancerogenost	lokalno	desetletja / stoletja
povečanje koncentracije CO ₂	globalno	leta / desetletja
škodljivi vplivi na človekovo zdravje	lokalno	leta / desetletja
strupenost za druga živa bitja	lokalno	leta / desetletja
strupenost za vodo	regionalno / lokalno	leta / desetletja
uničenje življenjskega okolja habitatov	regionalno / lokalno	leta / desetletja
poraba neobnovljivih virov	globalno	desetletja / stoletja
hrup	lokalno	minute
smrad	lokalno	ure

Vir: [Owens 1997]

Poraba energije ima vse večji vpliv na okolje, ne samo lokalno, temveč predvsem globalno na celotno zemeljsko okolje. Temu smo priča v zadnjem času; katastrofalne poplave, suše, orkani, toča in sneg v velikih količinah pogosto izven zimske dobe. Gospodarska razvitost se povečuje ob hkratnem socialnem razvoju, vendar počasnejšem uveljavljanju skrbi za okolje. Tako je gospodarska rast delno dosežena tudi na škodo okolja. Priučiti se odgovornega odnosa do okolja in postati trajnostno naravnani potrošnik ne pomeni odrekanja se stvarem, ampak zgolj spremeniti potratne in nepremišljene razvade in navade [NPVO 2004].

Želja je izboljšati kakovost bivanja ob hkratnem zmanjšanju vpliva na okolje. Postajamo vse bolj prepričani, da je osnova kakovosti življenja, kot tudi življenje samo, odvisno od lokalnega in globalnega okolja. Naš uspeh in preživetje sta možna samo z minimalno obremenitvijo okolja, tolikšno da so možni samoregulirni obnovitveni procesi narave.

Stopnjo dovoljene obremenitve okolja smo zaradi slabih izkušenj iz preteklosti prisiljeni močno znižati. Boljše življenjske pogoje bomo dosegli le na en način: z doslednim zmanjševanjem obremenitve okolja [Iwamura 2005].

Energija, ki je potrebna za ogrevanje, ohlajevanje, ventilacijo, klimatizacijo prostorov in ogrevanje sanitarne vode, predstavlja tudi do 60 % skupne porabe energije v celotnem življenjskem ciklusu objekta [Ikaga 2005]. To dokazuje, kako zelo so potrebni toplotna zaščita, pravilno orientirane okenske odprtine in drugi ukrepi pasivne arhitekture z namenom varčevanja z energijo [Ikaga 2005]. Z izračuni smo ugotovili, da je ta odstotek ob neugodnih razmerah lahko tudi višji (stran 76, poglavje 6 – Primeri vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu različnih konstrukcijskih sklopov ravnih streh).

Emisije ogljikovega dioksida (CO₂), ki nastopajo ob uporabi objekta, so v celotni življenjski dobi, približno trikrat večje od skupnih emisij, ki nastopajo v procesu pridobivanja surovin, proizvodnje gradbenih materialov in same gradnje skupaj [Ikaga 2005].

V proizvodnji toplotnih izolacij (proizvodnja ekstrudiranega polistirena in poliuretana) in izdelavi medijev za prenos toplote v hladilnikih, klima napravah in drugih toplotnih strojih so se še pred nedavnim uporabljali plini (predvsem škodljive klorfluorogljikove diokside, CFC, HCFC, HFC ali FCKW), ki škodno vplivajo na ozonsko plast in povzročajo efekte tople grede od nekaj stokrat do nekaj tisočkrat večje kot ogljikov dioksid (CO₂) [Ikaga 2005].

Okoljske primernosti izdelka ni lahko opredeliti, saj je ocena odvisna od gledišča opazovalca in od današnje stopnje tehnično – tehnološke razvitosti. Pri tem gre skoraj izključno za vrednotenje relativne primernosti izdelka glede na druge sorodne izdelke, ne pa na absolutne primernosti [Lipušček 2005].

Obremenjevanje okolja lahko preučujemo le na določeni stopnji celotne življenjske poti produkta. Preglednica 2 prikazuje vpliv onesnaženosti na globalno, lokalno ali regionalno in na notranje okolje [Yashiro 2004]. Pri tem se moramo zavedati, da analiziramo samo določen del celote. Meje preučevanja je potrebno določiti glede na želeno obsežnost raziskave, razpoložljivi čas in razpoložljiva sredstva. Obstaja realna

nevarnost, da zaobjamemo analizo preveč obširno, kar povzroči dolgotrajne in nepregledne postopke, ki praviloma privedejo do spornih rezultatov. Po drugi strani pa preozko zastavljene analize določene stopnje življenjske dobe vodijo do modelov, v katerih so izpuščeni pomembnejši procesi in vplivi na okolje [Lipušček 2005].

Preglednica 2: Kazalci onesnaženosti in vpliva na okolje
Table 2: Marks of pollution and impacts on environment

Globalno okolje	Lokalno ali regionalno okolje	Notranje okolje
<ul style="list-style-type: none"> • čezmerna poraba energije • globalno segrevanje • pomanjkanje surovin in energije • uničevanje ozonske plasti 	<ul style="list-style-type: none"> • kontaminacija zemljine • kontaminacija vode • radonska kontaminacija • onesnaževanje s hrupom • ekološka škoda (krčenje gozdov...) • mikroklimatske spremembe ob objektih visokih in nizkih gradenj • zakrivanje sonca – senčenje • uničevanje oblike okolja in dosedanje oblike mest • izguba zgodovinskega izročila starih mestnih jeder 	<ul style="list-style-type: none"> • razširjanje toksičnih snovi • penetriranje toksičnih snovi iz okolja (kemikalije, kmetijske kemikalije, škropiva, herbicidi....)

Vir: [Yashiro 2005]

Potrebujemo celovito sliko možnih medsebojnih vplivov proizvodno – potrošniških ciklusov z okoljem, ki bi pomagala razumeti dolgoročne posledice človekovih aktivnosti v okolju in pomagati pri odločanju, ko iščemo priložnosti za izboljšanje okoljskega obnašanja. Raziskave so za sedaj usmerjene v nove tehnologije, učinkovito rabo energetskih in surovinskih virov. Če želimo zmanjšati obremenjevanje okolja, bomo morali v prihodnje več poudarka posvečati bolj kompleksni in kritični presoji produktov in storitev ter se zavestno odločati za tiste, ki v življenjskem ciklusu predstavljajo najmanjšo obremenitev za okolje [Köhl et al. 2004].

2.2.3 Okoljska etika in trajnostno varovanje okolja

Obstajajo tri glavna načela okoljske etike in trajnostnega varovanja okolja [Yashiro 2005 in Murakami 2005]:

- medgeneracijska etika (odgovornost sedanjih generacij za kakovost življenja bodočih generacij, poznamo rek, ki govori; surovine, fosilna goriva, drugo energijo in resurse smo prejeli kot darilo od bodočih generacij),
- omejeni razpoložljivi zemeljski viri,
- pravico do življenja v naravnem okolju.

Onesnaževanje že dolgo ni samo lokalno, ampak vsi vplivamo na globalno okolje. Torej, vzajemno smo si vsi sosedi in s kvarjenjem okolja onesnažujemo ne samo svoje, ampak tudi sosedovo dvorišče in obratno – sosedi naše [Nagashima 2005].

Sedanje generacije porabljajo toliko energije, kot je niso še nobene druge generacije v zgodovini človeštva. Ta potrata pri porabi energije bo bodoče generacije postavila v položaj pomanjkanja energije in posledično onemogočanje zagotavljanja visokega življenjskega standarda [Yashiro 2005].

2.2.4 Energetska bilanca

Je razmerje med dovedeno (primarno) energijo v sistem, najsi bo to za določeno stavbo, napravo, človeško telo, določeno okolje ali celoten planet Zemlje, in potrebo po energiji sistema, vključno z energijo izgube. Osnovna teorija energetske bilance je prvi zakon termodinamike, ki govori, da energije ne moremo ustvariti niti uničiti, ampak lahko le spremenimo njeno obliko.

Pri analizi energetske bilance v industriji upoštevamo tehnološko energijo, pri tem ne smemo zanemariti netehnološke energije, ki je potrebna za ogrevanje, hlajenje, prisilno prezračevanje in klimatizacijo.

2.2.5 Ekološka bilanca

Objekti porabljajo energijo tekom celotne življenjske dobe, od predelave surovin, izdelave gradbenih materialov, gradnje, uporabe objektov, vzdrževanja, odstranjevanja in rušenja objektov, upravljanja z odpadki ter končno recikliranja in ponovne uporabe. Na stopnji oblikovanja je možno preveriti ekološko bilanco v kolikor je ta pozitivna, enaka nič ali negativna. Delovati moramo v smislu razumnega ravnotežja med okoljskim, ekonomskim, funkcijskim in estetskim pogledom [Kodama 2005].

Cilj je izdelati izdelek, sistem ali uslugo s čim manj deli in stopnjami, izbrati pravi material na pravem mestu, uporabljati toliko surovin, kolikor je nujno potrebno in ob danih ekonomskih pogojih proizvesti najbolj kakovosten izdelek. Recikliranje in ponovna uporaba surovin ni vedno garancija za večjo učinkovitost ekoloških bilanc proizvodov [Yashiro 2005]. Energetska bilanca v celotnem življenjskem ciklusu mora sistematsko pokriti metoda vrednotenja življenjskega ciklusa – LCA (opisana v poglavju 2.4, stran 25).

2.2.6 Vsebovana energija (*Embodied Energy - EE*)

Vsebovana (nekateri jo poimenujejo tudi vključena ali vgrajena) energija predstavlja količino energije potrebne za proizvodnjo in dostavo proizvoda, materiala ali storitve do mesta uporabe. Vsebovano energijo izrazimo kvantitativno kot celotno vsoto direktno in indirektno potrebne energije za proizvodnjo določenega izdelka ali usluge.

V temeljnem pomenu je vsebovana energija računsko kvantitativna metoda, katere namen je določiti skupno potrebno energijo, od pridobivanja surovin, transportov, proizvodnje, obdelav, sestavljanj, namestitvev, kot tudi vrednost kapitala in drugih stroškov, s ciljem, da bi proizvedli nek proizvod ali storitev, ter končno tudi razstavljanje, dekonstrukcijo in skrb za odpadke [Kernan et al. 2001].

Za energetska varčno in okoljevarstveno gradnjo je potreben tudi podatek o vključeni energiji vgrajenih materialov in ne, kakor mnogi napačno menijo, da je energetska bilanca stavbe odvisna samo od rabe energije v času življenjske dobe stavbe.

Za izračun vsebovane energije določenega produkta ali usluge se uporabljajo različne metode, izračuni in razmerja, ki pogosto vodijo do rezultatov raztresenih v širokem območju in s tem do znatnih metodoloških napak. Žal še ne obstajajo mednarodni standardi, metode izračunov in nujne baze podatkov o vgrajenih energijah vseh stopenj določenega produkta ali usluge. Prav zato pri izračunih pogosto pozabljammo na pomembne deleže vsebovane energije, kot so na primer nujna izgradnja infrastrukture za potrebe proizvoda ali storitve, izgradnja in vzdrževanje transportnih poti, oglaševanje, marketing in podobno. Nujno je oceniti in določiti napako v izračunu vgrajene energije in se z nastavitvijo napake približati k stabilnemu rezultatu vrednosti vsebovane energije.

Preglednica 3: Vrednosti vsebovane energije za nekatere gradbene materiale
Table 3: Values of embodied energy for some construction materials

Material	Vsebovana energija - Embodied Energy (MJ / kg)
Strešna lepenka ¹	0,5
Beton ¹	0,8
Cement (portland) ¹	1,6
Opeka ¹	2,5
Les ¹	5,8
Tipična poslovna stavba ¹	8,0
Fe - železo (surovo) ²	13,2
Jeklo (pločevina) ²	16,2
Linolej – talna obloga ¹	17,0
Steklo ¹	19,0
Bitumenski SBS trak, samolepilen ¹	27,0
Kamena volna ¹	30,0
Obešen akustični strop, mavčno kartonsko polnilo ¹	45,0
Jeklo ¹	46,0
Cu - baker ¹	50,0
Poliolifinska parna zapora ¹	60,0
Pokrivna barva na vodni osnovi ¹	77,0
Polivinilklorid – PVC, UV stabiliziran ¹	98,0
Polistiren – EPS – stiropor ¹	130,0
Al – aluminij ¹	274,0

Viri: ¹[Kernan et al. 2001], ²[Oka 2005]

Podatki o vrednosti vsebovane energije (Preglednica 3) in podatki iz literature [Athena Institute 2002] ter upoštevanje, da so gradbene konstrukcije iz lesa lahke ugotovimo, da ima les eno izmed najmanjših vsebovanih energij med nosilnimi materiali.

Čeprav so podatki v zgornji preglednici (Preglednica 3) iz istih virov ([Kernan et al. 2001] in [Oka 2005]), na prvi pogled lahko opazimo nekaj nelogičnosti, na primer: vsebovana energija strešne lepenke je 0,5 MJ/kg, kar je 54-krat manj od vsebovane energije bitumenskega samolepilnega traku (27 MJ/kg), kot tudi razlika v vrednosti vsebovane energije za linolej (17 MJ/kg) v primerjavi z vsebovano energijo za polivinilklorid – PVC (98 MJ/kg). Razlago lahko poiščemo v tem, da je sestava bitumenske strešne lepenke surovi strešni karton, ki še ne vsebuje bitumenskih sestavin, za razliko od samolepilnega bitumenskega traku, sestavljenega iz bitumnov - produktov surove nafte. Drugo primerjavo lahko razložimo tako, da je linolej sestavljen iz naravnih organskih materialov, proti polivinilkloridu, ki je umetno pridobljen material. V vsej razpoložljivi literaturi, vključno z rezultati znanstvenih dognanj, se vrednosti za vsebovano energijo zelo razlikujejo in ni možna primerjava na absolutni ravni, ampak je omogočena le relativna primerjava.

2.3 Standardi s področja okoljevarstva in določevanja življenjskih dob

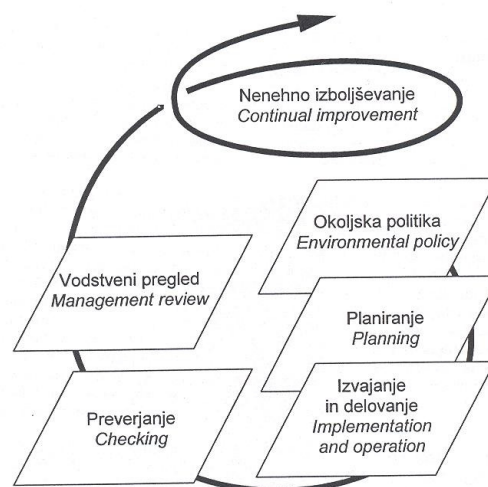
Mednarodni okoljski standard ISO 14001 je bil prvič sprejet septembra 1996 in predstavlja sistem ravnanja z okoljem, ki ga je moč uporabiti za posamezno organizacijo ali lokacijo za vse vrste industrije in tudi za storitvene dejavnosti. Osnovno temeljno načelo standarda je nenehno izboljševanje in zmanjševanje onesnaževanja s pomočjo sistematičnega ravnanja z okoljsko občutljivimi dejavnostmi v podjetju ali kateri drugi organizaciji. Smatra se, da s stalnim nadzorovanjem, pregledovanjem in izboljševanjem okoljskega poslovanja vsako podjetje lahko izboljša svoj sistem ravnanja z okoljem, kar je z evidencami in drugo dokumentacijo, ki jo standard predpisuje, tudi dokazljivo.

Ker so ISO standardi sprejeti na mednarodnem nivoju, vsebujejo mnoge kompromise in za vodilne države na okoljskem področju, preohlapne zahteve.

Standard ISO 14001 zahteva, da mora odgovorno ravnanje z okoljem postati del vsakodnevnega rednega poslovanja podjetja, da mora biti vsebovano v poslovnih načrtih, naložbah, da mora biti vizija vodstva in razmišljanje vsakega zaposlenega.

Standardi skupine ISO 14000 so zapisani zelo splošno in široko v tolikšni meri, da si vsako podjetje ali organizacija predpišeta takšen sistem poslovanja, ki ji najbolj ustreza in na tak način, ki ni vsiljen ali predpisan vnaprej in od zunaj. Vrednotenje življenjskega ciklusa standard že zajema, vendar le v konceptualnem okvirju, niso pa podane jasne in dorečene metode ter postopki določitve življenjskih dob produktov in uslug.

Okoljevarstveni standardi serije ISO 14000 opredeljujejo tudi oceno življenjskih ciklusov. V podstandardih (ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 in ISO 14043) je jasno predstavljen in opisan konceptualni okvir vrednotenja življenjskega ciklusa, vendar metodološke rešitve niso dorečene niti prikazane.



Slika 3: Model sistema ravnanja z okoljem po standardu SIST EN ISO 14001
Figure 3: Environmental management system model SIST EN ISO 14001

Prvi standard (**EN ISO 14040: 1997, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Načela in okviri**), v grobem okvirju opredeljuje predmet vrednotenja in meje sistema, določitev virov zbiranja podatkov in referenčne funkcionalne enote. Na kakovost podatkov vpliva način izbora podatkov, interpretacija podatkov, dinamika tehnološkega razvoja, geografske in lokacijske omejitve. Standard

opredeljuje metodo Vrednotenja življenjskega ciklusa – LCA (Life Cycle Assessment) kot tehniko, ki jo izvajamo za določene stopnje ali celoto, namenjeno odkrivanju možnosti izboljšave okoljskih zahtev proizvodov v različnih stopnjah življenjskega ciklusa. Metoda je podpora industriji, vladnim in nevladnim organizacijam za pomoč pri stroških planiranja, določevanja prioritet, planiranju in reorganiziranju proizvodnih procesov, kot tudi pri prodaji in marketingu.

Drugi standard (**EN ISO 14041: 1998, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Opredelitev cilja in obsega ter popis vplivov na okolje**), hrani podatke, sledenje in vodenje, kar mora biti natančno opredeljeno. Zato moramo izvesti natančen popis vseh vhodov in izhodov sistema, tako snovnih, nematerialnih kot tudi energetskih. Ta standard predstavlja podatkovno jedro z vsemi zbranimi kvantitativnimi podatki, ki so potrebni za vrednotenje življenjskega ciklusa. V standardu je opredeljena metoda Inventura življenjskega ciklusa – LCI (Life Cycle Inventory analysis) vključno z namenom opravljanja analize in definicijami.

Tretji standard (**EN ISO 14042: 2000, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Ovrednotenje vplivov na okolje**) zahteva, da podatke povežemo s škodljivimi vplivi na okolje, ki jih evidentiramo v več korakih: klasifikacija v kategorije učinkov (zviševanje vsebnosti CO₂, učinek tople grede, uničevanje ozonske plasti, kancerogenost za živa bitja in podobno), presoja relativne škodljivosti učinkov z uporabo fizikalno – kemijskih modelov, uravnoteženje učinkov s ponderiranjem glede na delež onesnaževanja. Ta postopek je opisan preveč splošno, z obstoječo metodologijo lahko le ocenimo vplive, ne moramo pa, zaradi nekonsistentnosti postopka določiti enotne ocene obremenjevanja okolja.

Za mnoge vplive na okolje fizikalno – kemični učinki niso navedeni in ponderji niso določeni, kar onemogoča, da bi lahko podali enotno oceno obremenjevanja okolja ali okoljske primernosti produkta ali postopka.

Četrti, trenutno kot poslednji okoljski standard te skupine (**EN ISO 14043: 2000, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Predstavitev rezultatov analize življenjskega cikla**) utemeljuje osnovno načelo standarda; do obremenjevanja okolja ne prihaja samo med proizvodnjo izdelka ali storitve, ampak se obremenitve okolja pojavljajo na vseh stopnjah življenjskega ciklusa izdelka, to je od pridobivanja

surovin do odstranjevanja in recikliranja odsluženega produkta. Opredeljen je pregled občutljivosti, priporočila, sklepi, zaključki, pregledi in druge raziskave. Obremenjevanje okolja se pojavlja na vseh stopnjah življenjskega ciklusa, z uporabo neobnovljivih virov energije, z emisijami odpadkov, z emisijami v zrak in vodo, s transportom, uporabo, obnovo, vzdrževanjem, odstranitvijo in recikliranjem.

2.4 Vrednotenje življenjskega ciklusa (Life Cycle Assessment - LCA)

LCA je metoda, s katero ovrednotimo obremenitve okolja, povezane s posameznim izdelkom ali storitvijo, tako da ugotovimo vrsto in količino porabe energije in materialov, vrste in količine odpadkov in emisij sproščenih v okolje ter možne posledice za okolje. V oceno, ki zajema okoljske kazatelje, je vključen celoten življenjski cikel izdelka vključno z načrtovanjem izdelka, pridobivanjem surovin, pridobivanjem potrebnih energetskih virov, produkcijo in distribucijo energije, proizvodnjo izdelka ali storitve, potrebnih sestavnih delov in dodatkov, produkcijo končnih izdelkov in stranskih izdelkov, transportom med posameznimi sistemi, transportom in distribucijo končnih izdelkov, pakiranjem, uporabo, vzdrževanjem, recikliranjem, končnim odlaganjem na deponijo in skrbjo za odpadke. Torej, določenemu produktu ali uslugi vrednotimo vpliv na okolje skozi celotno življenjsko dobo [Lipušček 2005].

To metodo uporabljamo za ocenjevanje vplivov določenega proizvoda (materiala ali celotnega objekta) na okolje v njegovem celotnem življenjskem ciklusu. Analiza zajema tok materiala, porabo surovin, potrebne Transporte, uporabo neobnovljivih in obnovljivih surovin in drugih virov, porabo neobnovljivih in obnovljivih oblik energije, povzročanje emisij, porabo vode, porabo kisika, postopek recikliranja in upravljanje z odpadki. LCA ima pomen, ko vrednotenje opravljamo na celotnem sistemu ali konstrukcijskem sklopu in ne izključno na nivoju posameznega elementa, gradbenega materiala ali sestavnega dela.

Obe metodi LCA (vrednotenje življenjskega ciklusa) in LCCA (stroškovno vrednotenje življenjskega ciklusa) sta na videz medsebojno neodvisni in se večinoma uporabljata ločeno, čeprav imata pomembno skupno točko: analiza premika, preoblikovanja in uporabe materiala ali sistema skozi celotno življenjsko dobo v proizvodno – potrošniškem ciklusu. Po eni strani je LCA metoda, ko želimo vrednotiti alternativne

tehnološke, ekološke, funkcionalne in estetske variante v pogledu celovitega trajnostnega varovanja okolja, po drugi strani pa z metodo LCCA dodatno zajemamo še finančno vrednotenje ne samo preteklih in sedanjih finančnih tokov, ampak tudi bodoče bližnje in daljne finančne tokove [Lipušček 2005]. Absolutno objektivna je lahko samo fizikalna oblika.

Za razliko od ekonomskih vrednotenj, ki uporabljajo monetarne valute, se v primeru energetskih analiz (na primer po metodi LCA) za posamezne odločitve uporabljajo enote v fizikalni obliki ali 'energetske valute', kot so; toplota, električna kemična in druge oblike energije [Lipušček 2005].

Zavedati se moramo, da iste vhodne količine, pridobljene z različnimi postopki produkcije, načeloma predstavljajo različne stopnje obremenjevanja okolja. Na ta problem naletimo že pri vrednotenju obremenjevanja okolja zaradi energije, ki lahko izvira iz različnih virov, kot so fosilna goriva, jedrska energija, hidroelektrarne, termoelektrarne, biomasa ali obnovljivi viri. Predstavljamo si lahko, kako velike razlike so med naštetimi načini pridobitve posamezne kilovatne ure (kWh) energije [Lipušček 2005]. Z metodo LCA ne moremo zajeti kakovost notranjih prostorov, kakovost bivanja ali nevarnosti ob uporabi ali nastajanju človeku nevarnih toksičnih snovi.

2.4.1 Inženiring življenjskega ciklusa (*Life Cycle Engineering - LCE*)

Po tej metodi vrednotimo vpliv na okolje, skupaj z ekonomskimi vplivi in hkratnim upoštevanjem tehničnih in tehnoloških robnih pogojev, omejitev in možnosti. Inženiring življenjskega ciklusa zajema tako LCA (vrednotenje življenjskega ciklusa), ki daje poudarek okolju, kot tudi LCCA (vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu) z osredotočenjem na stroških in PLC (Product Life Cycle – življenjska doba izdelka ali storitve), s poudarkom na življenjski dobi.

3 VREDNOTENJE STARANJA IN NAPOVEDOVANJE ŽIVLJENJSKE DOBE

3.1 Zgodovinski pregled določevanja življenjske dobe

Začetki pospešenega staranja so sloneli na čim hitrejšem staranju pod laboratorijskimi pogoji. V mnogih primerih to privede do tako pretiranih propadov materialov ali produktov, ki se pod normalnimi pogoji uporabe v naravi ne bi zgodili. Popolnoma jasno je, da moramo pogoje pospešenega staranja prilagoditi različnim materialom ali izdelkom. Pri tem pa moramo kar najbolj upoštevati pogoje ob normalni uporabi. Splošne metode, ki bi veljale za različne primere pospešenega staranja na žalost ni.

3.1.1 Arrheniusov zakon

Arrheniusova empirična enačba predstavlja:

- logaritmično razmerje (osnova je naravni logaritem),
- enačba je empirična in ni eksaktna,
- najpogosteje ugotavljamo eksponentno odvisnost staranja od temperature.

Arrheniusova enačba je zelo enostavna, vendar hkrati presenetljivo točna. Formula opisuje odvisnost hitrosti kemičnih reakcij od različnih fizikalnih vplivov kot so temperatura, vlaga, tlak in podobno. Na obseg sprememb vpliva sposobnost materiala, da se vplivom upira, kar določa aktivacijska energija. Prve zametke teorije je predlagal nizozemski kemik J.H. van't Hoff leta 1884. Pet let kasneje je švedski kemik in kasnejši Nobelov nagrajenec, Svante Arrhenius objavil fizikalno razlago enačbe. Arrhenius je trdil, da moramo dovesti dovolj energije za dosego neke reakcije, ki bi spremenila material. Sprememba ni direktna, tako da je vmesna stopnja tvorba aktivacijskega kompleksa. Minimalno energijo za dosego reakcije imenujemo aktivacijska energija.

Arrheniusova empirična enačba opisuje logaritmično razmerje (osnova je naravni logaritem) med temperaturo in aktivacijsko energijo. Čeprav je Arrheniusova enačba dober približek v številnih primerih, na žalost to vedno ne velja. Kljub temu, da je privzeta poenostavitev mnogih vplivov kot temperaturno neodvisnih, je veliko študij jasno potrdilo, da je proces propadanja materiala mogoče opisati z enostavno Arrheniusovo enačbo. Pogosto je dovolj dober približek obnašanja v naravi, ker ni vedno popolnoma natančna, se v veliko primerih bolj uspešno uporabljajo različne ocene. Eden od primerov, znan iz kolizijske teorije kemičnih reakcij, razvite s strani Maxa Trautza in Williama Lewisa v letih 1916 – 18. Po tej teoriji, molekule reagirajo če je amplituda nihanja posameznih atomov v molekulah tako velika, da doseže ali preseže aktivacijsko energijo (E_a) za reakcijo. Teorija je pripeljala do podobnosti z Arrheniusovo enačbo, s to razliko, da faktor A ni več konstanta, ampak je v relaciji s kvadratnim korenom temperature. Slednje potrjuje, da splošna stopnja vseh koalizij, reaktivnih ali nereaktivnih, proporcionalna povprečni molekularni hitrosti in tako proporcionalna s kvadratnim korenom temperature ($T^{1/2}$). V praksi je na srečo kvadratni koren temperature v odvisnosti od predeksponentnega faktorja (A) izredno majhen, posebej v primerjavi z eksponentno odvisnostjo povezano z aktivacijsko energijo E_a [Glasstone et al. 1946, Glasstone et al. 1951].

V termičnem ravnovesju pri absolutni temperaturi T se deli molekul, ki imajo kinetično energijo večjo kot E_a lahko izračunavajo po Maxwell-Boltzmann-ovi distribuciji statistične mehanike in so v skladu z literaturo [Glasstone et al. 1946, Glasstone et al. 1951] v relaciji z:

$$e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

(Enačba 3.1)

E_a aktivacijska energija (J mol⁻¹)

R plinska konstanta (J K⁻¹ mol⁻¹)

T temperatura (K)

Preglednica 4: Vrednosti za plinsko konstanto R
Table 4: Values of gas constant R

8.314472 J · K ⁻¹ · mol ⁻¹	62.3637 L · mmHg · K ⁻¹ · mol ⁻¹
	62.3637 L · Torr · K ⁻¹ · mol ⁻¹
0.08205746 L · atm · K ⁻¹ · mol ⁻¹	83.14472 L · mbar · K ⁻¹ · mol ⁻¹
8.2057459 × 10 ⁻⁵ m ³ · atm · K ⁻¹ · mol ⁻¹	1.987 cal · K ⁻¹ · mol ⁻¹
8.314472 L · kPa · K ⁻¹ · mol ⁻¹	10.7316 ft ³ · psi · °R ⁻¹ · lbmol ⁻¹

Tako lahko Arrheniusovo enačbo za specifično stopnjo reakcije - konstanto k izrazimo kot [Glasstone et al. 1946, Glasstone et al. 1951]:

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (\text{Enačba 3.2})$$

- k reakcijska konstanta, specifična stopnja reakcije ali faktor hitrosti reakcije (s⁻¹)
- A predeksponentni faktor, faktor ponovitve ali faktor frekvence določene reakcije oz. materiala (s⁻¹)

Arrheniusova enačba je primerna za reakcije homogenih plinov, reakcije v raztopinah in heterogenih procesih, ni pa primerna za verižne reakcije.

Če je energija podana v molekularnih enotah (to je v Joulih na delec ali na molekulo), potem R (plinsko konstanto) zamenjamo s Stefan - Boltzmannovo konstanto k_B , ki predstavlja R deljeno z Avogardovim številom. Poleg tega se v Arrheniusovi enačbi podobno razmerje pojavlja v teoriji tranzicijskih stanj kemičnih reakcij. Enačbe in teorijo so leta 1930 predstavili Wigner, Eyring in Evans. Obstaja več oblik, vendar je najbolj pogosta [Glasstone et al. 1946, Glasstone et al. 1951]:

$$k = \frac{k_B T}{h} e^{-\frac{\Delta G^\ddagger}{RT}} \quad (\text{Enačba 3.3})$$

ΔG^\ddagger Gibbsova prosta aktivacijska energija (J mol⁻¹)

k_B Stefan - Boltzmannova konstanta, $k = 1.380\,6505(24) \times 10^{-23}$ J K⁻¹ =
= $8.617\,339 \times 10^{-5}$ elektron-Volt K⁻¹

h Planckova konstanta,
 $h = 6,6260693 \times 10^{-34}$ J s = $4,13566743 \times 10^{-15}$ eV s

Prvi pogled na formulo kaže, da je eksponentni del pomnožen s faktorjem v linearnem razmerju s temperaturo. Vendar moramo vedeti, da je prosta energija sama po sebi temperaturno odvisna. Prosta aktivacijska energija vsebuje entropijo in entalpijo, obe pa sta odvisni od temperature. Ko natančno upoštevamo vse dejavnike, pridemo do matematične oblike izraza, ki ponovno vsebuje formo Arrheniusove enačbe pomnožene z delno odvisno časovno funkcijo. Natančno formulo temperaturno odvisne funkcije med določeno reakcijo, lahko izračunamo z uporabo formul iz statistične mehanike. To zahteva uporabo participacijskih funkcij reaktantov in aktivacijskega kompleksa [Glasstone et al. 1946, Glasstone et al. 1951].

Z uporabo naravnega logaritma lahko Arrheniusovo enačbo preoblikujemo v [Glasstone et al. 1951]:

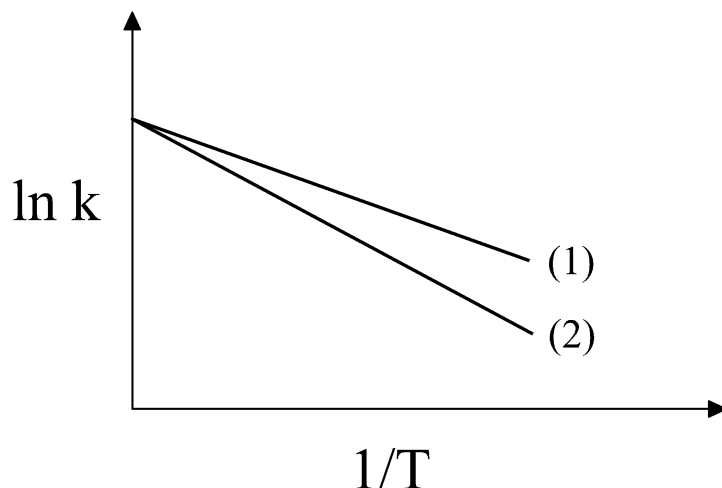
$$\ln(k) = -\frac{E_a}{R} \frac{1}{T} + \ln(A) \quad (\text{Enačba 3.4})$$

Če sta specifični stopnji reakcije (k_1 in k_2) pri dveh različnih temperaturah (T_1 in T_2) znani, lahko izračunamo aktivacijsko energijo [Glasstone et al. 1951]:

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{E_a}{R} \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \quad (\text{Enačba 3.5})$$

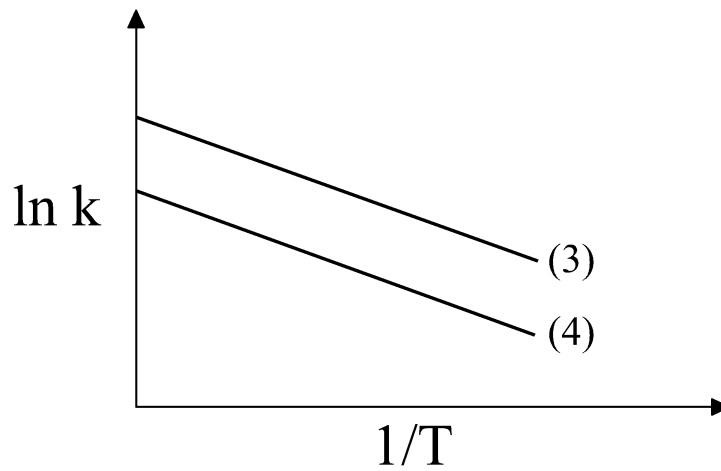
Ker je odvisnost reakcije konstantna, kar je v skladu z Arrheniusovo enačbo, potem je diagram $\ln(k)$ v odvisnosti od T^{-1} ravna črta. Sam nagib diagrama je v medsebojni odvisnosti z aktivacijsko energijo E_a , natančneje z $-E_a/R$, čim višja je aktivacijska energija tem strmejša je krivulja, višina v diagramu je odvisna od konstante A , čim višje je krivulja, tem večja je konstanta A . Ta postopek predstavlja osnovo za eksperimentalno kemijsko kinetiko, ki jo s pridom uporabljamo za določevanje aktivacijske energije za posamezne reakcije.

Če v skladu z Arrheniusovo enačbo izrazimo v diagramu $\ln k$ v odvisnosti od $1/T$, dobimo v diagramu linearno črto. V grafikonu (Grafikon 1), sta konstanti po Arrheniusu enaki $A(1) = A(2)$, medtem, ko sta aktivacijski energiji različni $E_a(1) < E_a(2)$.



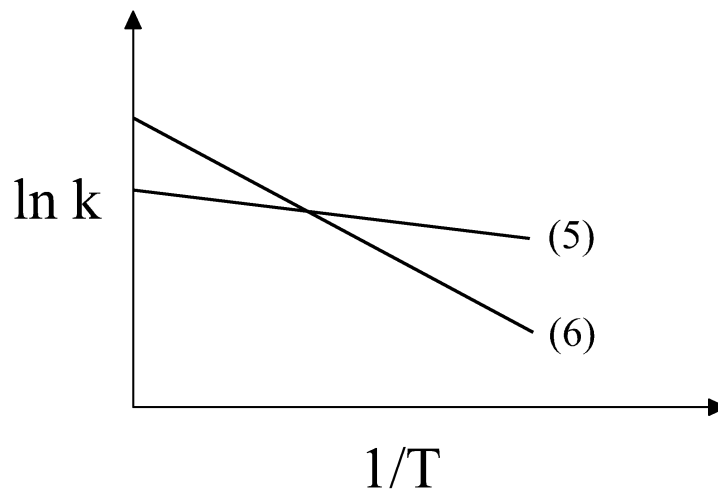
Grafikon 1: Primer, ko sta konstanti A enaki
Graph 1: Constants A are equal

Grafikon 2 prikazuje primer, v katerem konstanti nista enaki; $A(3) > A(4)$, vendar sta enaki aktivacijski energiji $E_a(3) = E_a(4)$. V diagramu vidimo, da sta nagiba enaka, kar je posledica enakih aktivacijskih energij.



Grafikon 2: Primer, ko sta aktivacijski energiji E_a enaki
Graph 2: Activation energies E_a are equal

Grafikon 3 prikazuje primer, ko sta tako konstanta, kot aktivacijska energija neki snovi višji (krivulja 6) kot drugi snovi (krivulja 5).



Grafikon 3: Primer, ko sta konstanti A in aktivacijski energiji E_a različni
Graph 3: Both, constants A and activation energies E_a are different

Aktivacijska energija je definirana kot zmnožek ($-R$) pomnožen z nagibom v grafikonu $\ln(k)$ v odvisnosti od $(1/T)$ [Glasstone et al. 1946, Glasstone et al. 1951]:

$$E_a = -R \left(\frac{\partial \ln k}{\partial (1/T)} \right) \quad (\text{Enačba 3.6})$$

Aktivacijska energija (E_a), kot rezultat zgornje formule je v splošnem odvisna tudi od temperature T . Zavedati se moramo, da Arrheniusova enačba ni popolnoma natančna, kar smo tudi že omenili. Na srečo je v praksi člen v odvisnosti od temperature zelo majhen.

Tako Arrheniusova enačba predstavlja kvalitativno osnovo za relacijo med aktivacijsko energijo in stopnjo reakcije po kateri se določena reakcija izvaja. V skladu z Arrheniusovo enačbo se aktivacijska energija izrazi kot [Glasstone et al. 1946, Glasstone et al. 1951]:

$$E_a = -R T \ln\left(\frac{k}{A}\right) \quad (\text{Enačba 3.7})$$

kjer je A faktor ponovitve določene reakcije, R predstavlja plinsko konstanto in T je temperatura (v Kelvinih). Čim višja je temperatura, tem lažje je presežen nivo aktivacijske energije posamezne reakcije.

Da bi v reakciji presegli stopnjo aktivacijske energije moramo doseči dovolj visoko temperaturo, pravilno orientacijo in energijo molekul. Arrheniusova enačba v veliki meri uspešno upošteva vse omenjene vplive.

Po grobi oceni velja, če dvignemo temperaturo za 10 stopinj Kelvina se stopnja reakcije najmanj podvoji. Slednje še posebej velja za reakcije v organski kemiji. Pri tem niso upoštevani členi temperaturne odvisnosti, to je efekt v povečanju števila molekul, ki imajo aktivacijsko energijo.

Degradacijo ob povišani temperaturi določimo na sledeči način [Carlsson et al. 2001, Carlsson et al. 2004, Köhl et al. 2004]:

$$a_T = \frac{k_2}{k_1} = \frac{\tau_1}{\tau_2} = e^{-\frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} = e^{\frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = e^{\frac{Ea}{R} \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}}$$

(Enačba 3.8)

a_T	koeficient pospešitve staranja zaradi degradacije ob povišani temperaturi (-)
k_1	specifična stopnja reakcije ob testiranju (s ⁻¹)
k_2	specifična stopnja reakcije ob normalni ali delovni uporabi (s ⁻¹)
τ_1	čas do degradacije ob testni temperaturi pospešenega staranja (sekunda, minuta, ura, dan, teden, mesec, leto)
τ_2	čas do degradacije ob delovni temperaturi, torej ob normalni uporabi (ura, dan, teden, mesec, leto, desetletje, stoletje)
T_1	temperatura ob testiranju (K)
T_2	temperatura ob uporabi ali delovna temperatura (K)

Staranje pri drugih temperaturah lahko računsko s pomočjo enačbe (enačba 3.8) predvidimo z interpolacijo znotraj intervala na katerem smo opravljali meritve staranja ali pa, kar je pogostejše z ekstrapolacijo izven obravnavanega intervala. Pri tem moramo biti pazljivi in do rezultatov kritični, posebej v primerih ekstrapolacije na večje temperaturne intervale zunaj območjih, ki smo jih s staranjem preiskovali. V teh primerih postajajo vpliv v Arrheniusovi enačbi zanemarljivega temperaturno odvisnega predeksponentnega faktorja, vse večji.

V skladu z Arrheniusovim zakonom že majhne spremembe temperature staranja povzročijo velike razlike, četudi so spremembe v temperaturi simetrične glede na temperaturo testiranja. Upoštevati je potrebno tudi vpliv temperaturnih šokov, ki nastopajo ob hitrih spremembah temperature. Tako uvedemo izraz 'efektivna temperatura', to je temperatura, ki dejansko obremenjuje vzorec v procesu staranja in upošteva tudi odmike od idealno konstantne temperature, ter jo izračunamo v skladu z literaturo [Köhl et al. 2004 in Carlsson et al. 2001] po enačbi:

$$e^{-\frac{Ea}{R T_{eff}}} = \int_0^{t_{end}} e^{-\frac{Ea}{R T(t)}} \frac{1}{t_{eff}} T(t) dt \quad (\text{Enačba 3.9})$$

T_{eff} efektivna - srednja temperatura idealnega pospešenega staranja (K)

t_{eff} čas trajanja pospešenega staranja (minuta, ura, dan, teden, mesec, leto)

S pomočjo zgornje enačbe (Enačba 3.9) lahko spremenljive temperaturne odmike prevedemo v konstantno vrednost temperature, ki jo imenujemo efektivna temperatura in označujemo z T_{eff} .

3.1.2 Aktivacijska energija

Prag za reakcijo je minimalna energija, to je aktivacijska energija, ki vodi k reakciji. V kemiji in biologiji predstavlja mejno energijo, oziroma energijo, ki je potrebna za potek kemične reakcije. Z drugimi besedami; to je minimalna energija, potrebna za začetek določene kemične reakcije. To je snovna lastnost, ki podrobneje opredeljuje material in omogoča posredno napovedati njegovo razgradnjo, oziroma staranje pod vplivom različnih zunanjih dejavnikov.

Vse spremembe, ki jih lahko opazujemo na materialu, imajo ustrezno aktivacijsko energijo. Ta je različna za temperaturno razgradnjo, za razgradnjo materiala pod vplivom sevanja, kakor tudi za druge vplive. Določanje aktivacijske energije je kvantitativno merilo za oceno stabilnosti materiala pod določenimi zunanjimi vplivi. Aktivacijska energija je ključni parameter, ki omogoča študij razgradnje pri izostrenih pogojih – tudi pri pospešenem staranju.

Da bi se dogodila določena reakcija so potrebni trije pogoji [Glasstone et al. 1946, Glasstone et al. 1951]:

1. za začetek reakcije morajo molekule medsebojno trčiti (kolidirati). Seveda, če dve molekuli medsebojno trčita, še ne povzročita reakcije. Z drugimi besedami: pojav medsebojnega trka med molekulami ni dovolj za začetek reakcije,
2. potrebno je dovolj aktivacijske energije, da bi dve molekuli medsebojno reagirali. To imenujemo sprememba tranzicijskega stanja. Če ob trku dveh molekul ni dovolj aktivacijske energije se ti dve molekuli samo odbijeta ena od druge. V tem primeru se zaradi prenizkega nivoja aktivacijske energije ne preseže točka tranzicijskega stanja,
3. molekule morajo biti v medsebojnem odnosu pravilno orientirane. Da bi prišlo do reakcije morata dve molekuli medsebojno trčiti pravilno orientirani in hkrati posedovati določeno količino energije. Ko se dve molekuli medsebojno pridružujeta druga drugi, se njuni elektroni odbijajo med seboj. Z aktivacijsko energijo presežemo te sile. Običajno to dosežemo z višjo temperaturo, energijo medsebojnega trenja, vibriranja in rotacije molekul, pogosto tudi z energijo svetlobe (fotokemija) ali energijo električnega polja (elektrokemija). Pri nizkih temperaturah za določene reakcije ni dovolj aktivacijske energije, čeprav je vedno določeno število molekul, ki ima dovolj energije za reakcijo. To si razlagamo tudi tako, da določamo povprečno temperaturo nekega medija in ne temperaturo posameznih molekul. S povišanjem temperature se povečuje tudi število molekul, ki imajo dovolj aktivacijske energije. Rezultat tega je, da se stopnja reakcije povečuje.

Aktivacijska energija se običajno izraža v energiji (**J**) potrebni za reakcijo enega **mola** snovi ali reaktanta, torej **J/mol**.

Primerjava aktivacijskih energij različnih snovi pokaže, da s povišano temperaturo aktivacijska energija različnih snovi izredno raste, tako so za snovi z visoko aktivacijsko energijo (več kot 170 kJ/mol) reakcije zaznavne šele pri temperaturah višjih kot 400 °C. Aktivacijska energija tudi pokaže ali bo reakcija pri določeni temperaturi hitra ali počasna. Endotermični proces ima aktivacijsko energijo vsaj tako veliko, kot je toplota, ki je absorbirana v reakciji.

Preglednica 5: Vrednosti aktivacijske energije za nekatere materiale
Table 5: Values of activation energy for some materials

Material	Aktivacijska energija E_a (kJ / mol)	
	od	do
Polivinilklorid – PVC ²	24,5	37,5
Cement, onesnažen s solmi ⁸	25,0	58,0
Zemljina ²	25,0	71,0
Polikarbonat – UV stabiliziran ²	26,0	28,5
Baterije – izpraznjene ¹²	31,0	34,0
Polipropilen ¹	35,0	50,0
Surova nafta pomešana s peskom ³	36,9	46,7
Guma vulkanizirana z žveplom ²	37,0	40,0
Guma vulkanizirana z žveplom in radiacijo ²	45,0	49,0
Plastika za avtomobilske dele – trajnejša ⁴	48,0	69,0
Baterije – nove ¹²	50,0	55,0
Bitumen ³	53,9	57,9
Beton ²	55,0	70,0
Butil elastomer ¹	60,0	100,0
Poliuretan ¹	65,0	119,0
CD plošča – zgoščenska (prospekt Kodak 2006)	68,0	72,0
Cement ⁷	71,0	73,0
EPDM ¹	78,0	127,0
Epoksi smola ojačena s steklenimi vlakni ¹⁴	80,0	135,0
Polikloroprenska guma ¹⁰	82,0	96,0
Neoprenska guma ¹	84,0	88,0
Polietilen za izolacijo kablov ¹³	88,0	107,0
Polivinilklorid – PVC za izolacijo kablov ⁵	98,0	99,0
Ulitki iz ALU zlitine ²	135,0	145,0
EP guma ⁹	160,0	160,0
Ethylene vinil acetate (EVA) ⁶	176,0	184,0
Alfa olifin kopolimer ⁹	180,0	180,0
EP grafit kopolimer ⁹	200,0	200,0
Ataktični polipropilen – APP ⁹	600,0	600,0
Izotaktični polipropilen – IPP ⁹	1.300,0	1.300,0

Viri: ¹[Celina et al. 2005], ²[Jorgensen 2003a, Jorgensen et al. 2003b, Köhl et al. 2005],
³[Sonibare et al. 2003], ⁴[Nohara 1997], ⁵[Jabukowitz et al. 1999], ⁶[Czanderna et al. 1995],
⁷[Bochen et al. 2005, Chitambira et al. 2006], ⁸[Chitambira et al. 2006], ⁹[Fawcett et al. 1999],
¹⁰[Gillen et al. 2004a], ¹¹[Oka 2005], ¹²[Liaw et al. 2003], ¹³[Gillen et al. 2004b], ¹⁴[Budrugaec 2001].

Preglednica 5 prikazuje aktivacijsko energijo za različne materiale. Med njimi je tudi nekaj gradbenih materialov. Če cement ($E_a = 71,0 - 73,0$ kJ/mol) onesnažimo s solmi, znaša aktivacijska energija le tretjino do četrtno prvotne vrednosti (24,5 - 37,5 kJ/mol). Beton ima vrednost aktivacijske energije med 55,0 in 70,0 kJ/mol. Bitumen ima to vrednost med 53,9 in 57,9 kJ/mol, vendar surova nafta pomešana s peskom le 36,9 do 46,7 kJ/mol. Polimeri, v tem primeru plastomerne sestave, ki jih dodajamo bitumnom, da bi izboljšali odpornost na nizke in visoke temperature, UV spekter sončnega sevanja, torej povečali odpornost na staranje večine bitumenskih proizvodov za hidroizolacije, imajo izredno visoke vrednosti aktivacijskih energij; ataktični polipropilen (APP) ima aktivacijsko energijo 600,0 kJ/mol in izotaktični polipropilen (IPP) celo 1.300 kJ/mol.

Med drugimi materiali bi izpostavili vrednosti aktivacijske energije polivinilklorida (PVC), od 24,5 do 37,5 kJ/mol, ki ga za namen izolacije kablov za elektroindustrijo modificirajo z dodatki proti staranju in s tem povečajo aktivacijsko energijo za štiri do petkrat ($E_a = 98 - 99$ kJ/mol). Sveže baterije imajo aktivacijsko energijo od 50,0 do 55,0 kJ/mol, izpraznjene pa le 31 do 34 kJ/mol. Zgoščanka (CD – Compact Disc) ima aktivacijsko energijo od 68 do 72 kJ/mol, medtem ko ima nosilna plast taiste zgoščanke, to je polikarbonat (UV stabiliziran) aktivacijsko energijo le od 26,0 do 28,5 kJ/mol.

Preglednica 6: Vrednosti aktivacijske energije za nekatere kemijske vezi
Table 6: Values of activation energy for some chemical links

Kemijska vez	Aktivacijska energija kemijskih vezi E_a (kJ / mol)
C – N (ogljik – dušik)	290,9
C – Cl (ogljik – klor)	328,6
C – C (ogljik – ogljik)	347,8
C – O (ogljik – kisik)	351,6
N – H (dušik – vodik)	391,0
C – H (ogljik – vodik)	413,6
C – F (ogljik – fluor)	441,2
O – H (kisik – vodik)	463,0

Vir: [Köhl et al. 2004]

Preglednica 6 prikazuje vrednosti aktivacijskih energij za nekatere kemijske vezi. Takoj opazimo, da so vrednosti aktivacijskih energij veliko večje.

3.2 Simulacijske analize

Simulacije propadanja materiala in s tem določevanje kakovosti sistemov in naprav so v sedanjem inženirstvu že stalna praksa. Simulacijske analize so pomembni postopki, ki omogočajo vnaprej predvideti kakovost, obstojnost in zanesljivost izdelka in omogočajo oceno morebitnih stroškov, povezanih z njegovo razgradnjo ali izgubo lastnosti. Na ta način je možno določati razmerja med ceno in kakovostjo ob upoštevanju različnih vplivov okolja. Dajejo tudi koristne napotke za varovanje okolja, če upoštevamo dejstvo, da se ob postopku propadanja pojavljajo tudi emisije nevarnih snovi.

Glavne prednosti simulacijskih analiz v primerjavi s testiranjem v realnem in naravnem okolju so predvsem; hitra izvedba in hitro pridobivanje rezultatov ter s tem nižje cene postopka testiranja [Köhl et al. 2004]. Podatke, ki so potrebni za določevanje pričakovane življenjske dobe materialov, posameznih komponent ali proizvodov, lahko pridobimo na različne načine; odziv uporabnikov, stalen nadzor ob pogojih uporabe ali iz ocen temelječih na metodah pospešenega staranja. Zavedati se moramo, da dejavniki okolja, odvisno od lokacije, klimatskih razmer, časa in drugih spremenljivk, zelo različno vplivajo na življenjsko dobo ali samo degradacijo proizvodov [Köhl et al. 2004].

Meritve izpostavljenosti okolju, dobljene iz realne uporabe materialov, posameznih komponent ali proizvodov, so v večini primerov prepočasne in so zaradi tega pogosto neustrezne. Kot ustrezne se izkažejo le v redkih primerih, ko odkrijemo v relativno kratkem času, torej na začetni stopnji testiranja, določene težave, anomalije, poškodbe ali celo razpad izdelka [Köhl et al. 2004]. Novi izdelki se pojavljajo hitreje kot lahko pridobimo povratne informacije iz uporabe. Težava je v tem, da samo laboratorijski pogoji ne zadostujejo za preverjanje življenjskih dob in staranja, ampak nujno potrebujemo povratne informacije iz obnašanja izdelkov v naravi [Yashiro 2005].

Alternativa opazovanju pod naravnimi realnimi pogoji uporabe je pospešeno staranje, pri katerem nivo obremenitve enega ali več dejavnikov zvišamo nad nivo obremenitve pri normalni uporabi. V primerjavi z izpostavitvijo normalnim pogojem uporabe je v primeru pospešenega staranja, čas testiranja lahko znatneje krajši. V večini primerov

kombinacija degradacijskih dejavnikov vpliva na življenjsko dobo. Pri tem lahko degradacijske komponente spreminjamo s časom [Köhl et al. 2004].

V času svoje življenjske dobe naprave zgublajo svoje lastnosti. Stopnja degradacije določa služno dobo izdelka [Seliškar 1981]. Pogosto življenjska doba ne pomeni dobo brez vseh poškodb. Nanjo vplivata tudi način in vestnost vzdrževanja. Po drugi strani so napake in poškodbe stvar subjektivne ocene; za nekoga napaka še ne pomeni poškodbe ali celo konec življenjske dobe, nekateri lahko menijo in ocenjujejo drugače.

Osnove za določitev življenjske dobe določenega materiala, produkta ali elementa v sistemu, so lahko različne. Velikokrat lastnosti nimajo samo dve področji stanja (vodonepropustnost proti puščanju vode, stabilnost proti poružitvi, dobro proti slabemu in podobno), ampak je določitev degradacije zaradi počasnega kontinuiranega procesa staranja veliko težja. V primeru drastičnega ali celo katastrofalnega padca kakovosti uporabe (imenujemo jo tudi 'nenadna smrt') je določitev življenjske dobe enostavna. Pogostejše je počasno, kontinuirano pešanje, zmanjševanje kakovostne uporabnosti in drugih lastnosti izdelka. V tem primeru moramo določiti največjo, še sprejemljivo spremembo izdelka in njegovih lastnosti, torej: določiti moramo maksimalno dovoljeno degradacijo proizvoda, ki je še sprejemljiva za uporabnike, kot tudi izgled, funkcionalnost in vse druge pomembne parametre izdelkov ob koncu življenjske dobe [Köhl et al. 2004].

Materiali in posamezne komponente izdelka imajo številne različne fizikalne in tehnične lastnosti, ki pomembno vplivajo na obnašanje v različnih okoljih, robnih pogojih, okoliščinah in področjih uporabe. Velikokrat samo nekaj lastnosti pomembno vpliva na funkcioniranje proizvodov in samo nekaj lastnosti komponent pomembno vpliva na delovanje celotnega sistema. Nekatere lastnosti so bolj pomembne kot druge in imajo prevladujoč vpliv na uporabnost in s tem na življenjsko dobo materiala ali izdelka, na primer; zunanji izgled, barva, vodonepropustnost (predvsem pri bitumenskih izdelkih), stabilnost (mehanske lastnosti, oprijem). V primeru, ko nastopi nenaden izpad funkcije zaradi dotrajanosti izdelka, je ocena življenjske dobe enostavna in jo lahko dobimo s statistično obdelavo rezultatov velikega števila testov. Vendar je ta pristop smotrni le za kratkotrajne teste, ki omogočajo testiranje velikega števila vzorcev v kratkem času, v nasprotju s počasnim in kontinuiranim propadom izdelka, kjer konec življenjske dobe ni jasno določljiv ali bi ga bilo nepraktično določevati. Zato se poslužujemo pospešenih

testov. V teh primerih moramo točno definirati in jasno opisati okoliščine, ki določajo konec življenjske dobe [Köhl et al. 2004].

Propad je pogosto počasen in kontinuiran proces, ki je odvisen od večjega števila parametrov, ti pa lahko v različni meri vplivajo na spremembo več lastnosti hkrati, kot na primer: vodonepropustnost in mehanske lastnosti, barva in mehanske lastnosti in drugo. Za ocenjevanje propadanja se moramo torej posluževati natančnih postopkov, ki na nivoju strukture materiala točno opredeljujejo spremembe v kemijski vezavi, optičnih lastnostih, poroznosti, sijaju, hidrofobnosti, oleofobnosti in retenciji vode ter topil [Köhl et al. 2004 in Orel et al. 2006].

3.2.1 Deterministično določevanje življenjske dobe

To je najbolj pogost način študij problemov določevanja življenjske dobe. Cilj analize je izdelava algoritma, ki natančno zajema problematiko posameznega primera.

Deterministično pomeni, da določeno stanje na vhodu, privede vedno do istega rezultata na izhodu. Obnašanje algoritma je točno predvidljivo. Pri deterministični analizi določujemo srednjo ali povprečno življenjsko dobo, torej zahtevo po zanesljivosti. Pri tem ne upoštevamo sprememb v času življenjske dobe, tudi različno dolge življenjske dobe niso odločilne [Köhl et al. 2004].

Uspešno razvita deterministična metoda določevanja življenjske dobe je za projektanta izredno lahka, učinkovita in računsko enostavna operacija vpliva različnih dejavnikov [Rudbeck 2002]. Na žalost realnih primerov v naravi pogosto ni moč opisati deterministično. Posebej to velja za kompleksne primere, ko je izredno težko ali celo nemogoče izdelati algoritme.

3.2.2 Probabilistično določevanje življenjske dobe

V tem primeru določevanja življenjske dobe želimo določiti verjetnost, s katero se bo dogodek zgodil. Pri tem se poslužujemo znanja iz statistike, kombinatorike, teorije števil in analiz v realnem času. Pri probabilistični analizi želimo določiti zahtevo po minimalni življenjski dobi ob ustreznem nivoju zanesljivosti. Najpogosteje si zastavimo

prag 90 % zanesljivosti vseh preskušancev, ki bodo dosegli določeno življenjsko dobo [Köhl et al. 2004].

Določeno stanje na vhodu pri tem načinu določevanja življenjske dobe ne privede vedno do istega rezultata. Do sedaj razvite probabilistične metode so manj poznane in tudi zahtevajo veliko več testiranj, računskih operacij in preračunavanj.

3.3 Pospešeno staranje

Namen pospešenega staranja je dobiti podatke o tistih materialih, ki bi jih uporabljali zato, da bi dosegli pričakovano življenjsko dobo izdelka ali sistema.

Hitrejša alternativa opazovanju propadanja pri naravnih pogojih uporabe materiala ali sistema je pospešeno staranje. Pospešeno staranje izvedemo tako, da nivo obremenitve enega ali več dejavnikov (faktorjev) zvišamo nad nivo normalne uporabe. V primerjavi z izpostavitvijo normalnim pogojem uporabe je v primeru pospešenega staranja čas testiranja znatno krajši. Metoda je posebej primerna za določevanje življenjskih dob produktov v primerih, ko so podatki o pričakovanih življenjskih dobah nedostopni ali se jih ne splača pridobiti s pomočjo testiranja. Razlog je preprost; čas nam ne dopušča, da bi merili celotno življenjsko dobo. Tipičen primer so hidroizolacijski izdelki na bitumenski osnovi. Posebej še, ko moramo življenjsko dobo ugotavljati pod različnimi dejavniki: zunaj, znotraj, različne geografske širine, nadmorske višine, prisotnost vlage, meteornih padavin in drugo [Köhl et al. 2004].

Metode pospešenega staranja so priporočljive za materiale, sestavne dele, celotne produkte in sisteme v primerih, ko življenjska doba dosega ali celo v znatni meri presega 30 let. Skoraj vse metode priporočajo ugotavljanje minimalne življenjske dobe 25 let. Načeloma nas določevanje življenjskih dob materialov in sistemov, ki so po eni strani enostavni, po drugi pa že z dolgoletno, več desetletij ali celo stoletij dolgo uporabo in preizkušnjo, ne zanima. Za te materiale lahko določimo obnašanje, odpornost in življenjsko dobo, iz obnašanja v preteklosti, dokaj natančno. Izjema so primeri, ko so tradicionalni materiali izpostavljeni znatno večjim obremenitvam kot v preteklosti; na primer onesnaženemu zraku, soli, kislemu dežju in drugim vplivom onesnaževanja okolja [Köhl et al. 2004].

Ker imamo pri določevanju življenjske dobe opravljanja s prihodnostjo, ne moremo poznati te dobe natančno. Poslužujemo se raznih ocen. Da bi lahko prišli do takšne čimbolj točne ocene, je treba določiti dejavnike, ki določajo življenjsko dobo določenega sistema [Köhl et al. 2004]. Lahko se osredotočimo na izpolnjevanje vseh zahtevanih performans pri hkratnih nizkih stroških.

Povzeto v skladu z literaturo [Carlsson et al. 2001, Carlsson et al. 2004 in Köhl et al. 2004], kjer je definicija izrazov opisana kot:

Odповed (angl. Failure) je nivo pri katerem so zasnovane zahteve za performanse. Če zahteve niso izpolnjene, potem je določena komponenta ali del komponente v procesu propadanja. Zahteve po performansah se lahko formulirajo na osnovi optičnih lastnosti, mehanske odpornosti, estetskih vrednosti ali drugih kriterijev odvisnih od lastnosti in materialov,

Poškodba (angl. Damage) z njo opišemo stopnjo analize propadanja, pri kateri lahko zaznamo različne vrste poškodb, ki vsaka zase vodi v propadanje,

Pomanjkljivost (angl. Defect) napaka ali odklon od predvidene performančne ravni objekta ali njegovih elementov,

Sprememba (angl. Change) je v zvezi s spremembo materiala, njegove sestave ali strukture, ki vodijo do poškodb,

Efektivni stres (angl. Effective Stress) je nivo, pri katerem so različni vplivi mikroklima zmožni vplivati na trajnost komponent in materialov. Pomembno pri tem je, da vplive in spremembe lahko merimo in kvantificiramo,

Obremenitve (angl. Loads) so nivoji, ki opisujejo makro okoljske pogoje, kot so klimatski, kemični, mehanski in drugi, ter predstavljajo osnovne in začetne točke za opis mikroklima ali efektnege stresa,

Trajnost (angl. Durability) je sposobnost objekta ali njegovega sestavnega dela ohraniti vsaj minimalne performanse pod vplivom dejanskih obremenitev okolja.

Omenjene definicije lahko dopolnimo po [Horshfeld et al. 2006] z izrazi:

Obratovalna ali uporabna življenjska doba (angl. Service Life) je časovna doba v kateri stavba ali katerikoli element stavbe lahko uporabljamo brez večjih popravil, zamenjav ali brez velikih stroškov,

Projektirana obratovalna življenjska doba (angl. Designed Service Life) je uporabna življenjska doba določena s strani projektanta in je tudi v skladu s pričakovanji investitorja ali uporabnika stavbe,

Napovedana ali pričakovana obratovalna življenjska doba (angl. Predicted or Expected Service Life) predstavlja napoved uporabne življenjske dobe, dobljene s pomočjo preteklih izkušenj ali testov pospešenega staranja.

Velikokrat določevanje življenjske dobe zahteva interdisciplinarno skupino ekspertov, kot tudi podporo poznavalcev meritev in diagnostike. Strokovnjaki bi morali poznati materiale, tehnologijo obdelave površin, zaščite površin, princip oksidacije in rjavenja, poznati polimere, fiziko trdnih teles, analitično kemijo, elektrokemijo, statistične metode [Köhl et al. 2004].

Vede, ki jih še posebej zanima staranje in pospešeno staranje so predvsem: solarna, biomedicinska, letalska in vesoljska tehnika, elektrotehnika, tehnologija premazov, zaščit in prevlek, vojaška oborožitev in obramba [Köhl et al. 2004].

Glavna naloga je razvoj takšnih materialov in sistemov, ki ne bodo zgubljali lastnosti v času izpostavljenosti normalnim pogojem za zeleno ali zahtevano življenjsko dobo. Dobro moramo poznati mehanizem degradacije in proces zmanjševanja kakovosti, ki omejujejo življenjsko dobo izdelka v realnih razmerah.

Novi materiali se izumljajo in plasirajo na tržišče hitreje kot bi lahko pridobili njihove empirične podatke o dejanskem staranju ob normalni uporabi. Pridobitev ustreznih modelov pospešenega staranja za nove materiale traja v večini primerov izredno dolgo. Podatki o staranju pod normalnimi obremenitvami in običajnimi pogoji so nam vedno v pomoč [Köhl et al. 2004 in Yashiro 2005].

Pospešeno staranje izvajamo bodisi s povečanjem reaktivnega dejavnika (ali več dejavnikov hkrati) ali s povečanjem intenzitete obremenitve in s tem povečano intenziteto degradacijske komponente. Po postopku pospešenega staranja produkte izpostavimo neobičajno visokim obremenitvam in degradacijam, ki so pri siceršnji uporabi redke. Pri teh pogojih se materiali ali mehanski deli izrabljajo znatno hitreje, kot bi se pri normalni uporabi. Nekaj primerov: polimerne materiale izpostavimo povišanim temperaturam, s tem pospešimo njihovo kemično razpadanje in posledično tudi staranje. Pomembno je izbrati takšne materiale, ki ne bodo zmanjšali odpornost celotnega sistema proti staranju, ampak bodo ti sestavni deli opravljali svojo funkcijo do konca pričakovane življenjske dobe celotnega sistema [Köhl et al. 2004].

Testiranja pod visokimi obremenitvami degradacijskih komponent, kot zamenjava za dolgotrajna testiranja pod dejanskimi, torej relativno nizkimi obremenitvami v naravnem okolju, so dobra izbira. V primeru uspešnih aplikacij je določevanje življenjskih dob dobrodošlo pri skrajšanju razvojnih ciklov novih proizvodov, hkrati lahko že pred plasiranjem izdelka na tržišče ugotovimo šibke lastnosti, ki nujno potrebujejo izboljšave [Köhl et al. 2004].

Če uporabljamo več degradacijskih dejavnikov hkrati, potem je priporočljivo spreminjati oziroma povečati intenziteto samo enega degradacijskega dejavnika. Ostale degradacijske vplive vzdržujemo na istem nivoju intenzitete [Köhl et al. 2004]. V nasprotnem primeru je velika verjetnost, da bomo napačno pripisovali rezultate posameznim dejavnikom in bomo izredno težko vzdrževali konsistentno metodologijo pristopa pospešenega staranja.

V času testiranja natančno opazujemo naslednje spremembe: zlom, krušenje, luščenje, erozija, drobljenje, razpokanje, kavitacija, korozija, deformiranje, nabrekanje, razkrajanje, odpadanje, slaba adhezija, cvetenje, razbarvanje, pojav plesni, obstojnost premazov, izguba sijaja, izguba elastičnosti, zmanjšanje trdnosti, sprememba dimenzije, izhlapevanje nekaterih sestavin materiala in podobno [Krainer 1980].

Ciklično spreminjanje temperature pogosto služi kot simulacija temperaturnih sprememb med dnevom in nočjo, spremembami letnih časov in vplivi ob hitrih vremenskih spremembah. Simulacijo lahko učinkovito izvedemo v nekaj dnevih ali celo

urah. Postopek vodimo pod nadzorom pod točno določenimi kontroliranimi pogoji. Prvi način je povečanje intenzitete obremenitve ali degradacije tistega dejavnika, ki povzroča degradacijo tudi ob normalnih pogojih uporabe. Drugi način je enostavno povišanje splošno najbolj kritičnega vpliva: to je najpogosteje povišana temperatura [Köhl et al. 2004].

Nekatere druge materiale ali naprave izpostavljammo drugim izjemnim obremenitvam oz. degradacijam: hitre temperaturne spremembe, sončna svetloba in predvsem UV spekter, vlaga, pritisk, strig, nateg, veter, sol, kisel dež, onesnažen zrak, atmosferski vplivi, megla, kondenzacija, izhlapevanje vode, prah, pesek in drugo [Köhl et al. 2004, Orel et al. 2006].

Pridobljeni podatki testiranj navadno niso neodvisni, na primer stopnja vlage zavisi od temperature, temperatura od sončnega sevanja in podobno. Zato je v večini primerov potrebno upoštevati več degradacijskih vplivov hkrati, kar pomeni da vpliv teh dejavnikov simultano merimo v procesu pospešenega staranja. Da bi proces pospešenega staranja, ki vpliva na spremembe več karakteristik hkrati, uspešno vrednotili, uvedemo kriterij performanse (angl. Performance Criterion – PC), kjer običajno v obliki enačbe izrazimo PC v odvisnosti od dveh ali več spremenljivk. V preučevani literaturi je prikazanih več primerov. Izpostavili bi [Köhl et al. 2004 in Oelhafen et al. 2005], kjer avtor opisuje kriterij performanse (PC) premaza pločevine v notranjosti sončnega kolektorja ob izpostavljenosti povišani vlagi, ki nastopa ob mnogih vremenskih pogojih. Rezultat je formula v odvisnosti od poslabšanja karakteristik absorptivnosti in emisivnosti. Premaz je dotrajan, ko nastopi s formulo določena kombinacija padca absorptivnosti na kratkovalovnem sončnem sevanju in porasti emisivnosti na infrardečem spektru ohlajevanja površine kolektorja. Omenjeni pristop je deterministično ugotavljanje življenjske dobe.

Zavedati se moramo, da dejavniki okolja, odvisno od lokacije, klimatskih razmer, časa in drugih spremenljivk, zelo različno vplivajo na življenjsko dobo ali sam propad proizvodov. Vremenski vplivi se dokaj enostavno evidentirajo, precej težje se ovrednotijo. Rezultati simulacijskih študij morajo biti ovrednoteni s pomočjo podpore pridobljene po eksperimentalnih metodah [Köhl et al. 2004].

Trenutno so pričakovane ali deklarirane življenjske dobe mnogih konstrukcijskih elementov krajše od ciklusa fizične zamenjave elementa stavbe, bodisi zaradi vzdrževanja, zaradi obnove ali rušitve [Köhl et al. 2004].

Kmalu postane jasno, da splošnega univerzalnega protokola za določanje tridesetletne življenjske dobe ni mogoče razviti. Posluževati se moramo aproksimacij s skrajševanjem dob testiranja. Napraviti moramo mehanizem za določevanje pogojev testiranja in določitev točke dotrajanosti. Jasno je, da moramo upoštevati tudi možnost, da se bo življenjska doba testiranega vzorca končala nenadoma – katastrofalna porušitev.

Življenjska doba določenih materialov, produktov in sistemov je različna in je odvisna od propada ene ali več jih komponent v produktu ali sistemu. Zato je določitev življenjske dobe izdelka pomembna, vendar kompleksna naloga, ki jo je treba podrobneje poznati glede na prevladujoči vpliv zunanjih dejavnikov, ki pospešujejo propad. Najdaljša življenjska doba je določena z minimalno obstojnostjo ene od komponent materiala ali sistema na specifični zunanji dejavnik (temperatura, voda, vlaga, tlak in drugo).

4 TESTIRANJE POSPEŠENEGA STARANJA, DOLOČEVANJE IN NAPOVEDOVANJE ŽIVLJENJSKE DOBE

4.1 Testiranja pospešenega staranja bitumenskega traku IZOTEM

Pospešeno staranje bitumenskih trakov v skladu s standardoma SIST EN 1296 in SIST EN 1297 traja celo 24 tednov, kar je praktično ½ leta, pri +70,0 °C. Testiranje je izredno dolgotrajno in poteka pri relativno nizki temperaturi, ki ne predstavlja velike obremenitve za staranje velike večine bitumenskih trakov. Zato smo si za cilj zadali določitev takšne temperature pospešenega staranja, ki bi omogočila standardnemu postopku primerljivo pospešeno staranje v krajšem obdobju, na primer v nekaj tednih. S pomočjo eksperimentalnih raziskovanj, upoštevanjem Arrheniusove teorije pospešenega staranja in ugotovitvijo interakcije med časom in temperaturo staranja bomo določili aktivacijsko energijo in s pomočjo nje izračunali staranje ob različnih temperaturah ali poljubnem času staranja. Ti rezultati bi nam koristili pri kontroli kakovosti, dokazovanju odpornosti na staranje in določevanju življenjske dobe za izdelke bitumenskih trakov, katerih karakteristike bi lahko na tak način določevali v znatno krajšem času.

Izvedli smo testiranja pospešenega staranja bitumenskega traku IZOTEM V4. Izdelek je v skladu s standardom SIST EN 13969 tip A, kar označuje hidroizolacijo za namen zaščite vkopanih objektov, torej za konstrukcijske sklope, kjer ne nastopajo visoki pritiski, bodisi vode, zemljine ali drugih konstrukcijskih sklopov. Sestava bitumenske mase je iz oksidiranih bitumnov in z dodatki mineralnih polnil. Nosilec ali armatura je iz steklenega voala gramature 50 g/m². Obojestranska površinska zaščita proti zlepljanju med skladiščenjem in transportom je HDPE folija, debeline 7 µm, ki je za namen meritev in staranja odstranjena s površine.

Bitumenski trak je bil proizveden 24. novembra 2006 v tovarni FRAGMAT TIM Laško. Na svežem vzorcu so bile ugotovljene sledeče fizikalne lastnosti: upogljivost na nizkih temperaturah je bila -10 °C in vrednost P / K (prstan / kroglica) +89,5 °C.

Postopek staranja smo izvajali v pečici – sušilniku (tip ELEKTROMEHANIKA LABONOVA ST 80) v podjetju FRAGMAT IZOLIRKA v Ljubljani. Pospešeno staranje je potekalo pri $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Primerjavo smo izvajali s staranjem istih vzorcev pri sobni temperaturi (na $+21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$), torej brez pospešenega staranja. Naravno staranje se je pričelo z dnem proizvodnje 24. novembra 2006.



Slika 4: Pečica – sušilnik ELEKTROMEHANIKA LABONOVA ST 80
Figure 4: Oven – Dryer ELEKTROMEHANIKA LABONOVA ST 80

4.1.1 Določitev mejne vrednosti funkcionalnosti

Smatramo, da je primarna funkcija in najpomembnejša zahteva bitumenskega traku vodonepropustnost. Sama vodonepropustnost celotnega hidroizolacijskega konstrukcijskega sklopa je odvisna tudi od kakovosti vgradnje, detajlov izvedbe, rešitve križanj konstrukcijskih sklopov, priključkov in podlage.

Pri bitumenskih izdelkih namenjenih hidroizolacijam težko določimo dotrajanost izdelka ali sistema v odstotkih. Zato smo za dokazovanje dotrajanosti izbrali upogljivost bitumenskih trakov pri nizkih temperaturah. Izbrali smo več kriterijev za mejno vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah. Tako da smo privzeli še sprejemljive vrednosti; $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+/-0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, določene z meritvami v skladu s standardom SIST EN 1109: 2000. Po naši predpostavki izdelek z višjo vrednostjo, torej s slabšo odpornostjo na upogljivost pri nizkih temperaturah, ne opravlja svoje primarne funkcije vodonepropustnosti in odpornosti na tlak v celoti. Menimo, da kot tak ni primeren za

izvedbo hidroizolacij vkopanih objektov proti talni vlagi, ki je pod pritiski do 2 kPa, kar zahteva standard SIST EN 13969 za kakovost bitumenskih trakov tipa A. Kot kriterij drugega postopka ugotavljanja dotrajanosti materiala smo izbrali spremembe v diagramih spektralnih analiz staranih vzorcev bitumenskega traku IZOTEM, kjer smatramo, da je izdelek dotrajan pri pojavu znatnih sprememb v spektrografu.

4.1.2 Določevanje upogljivosti pri nizkih temperaturah

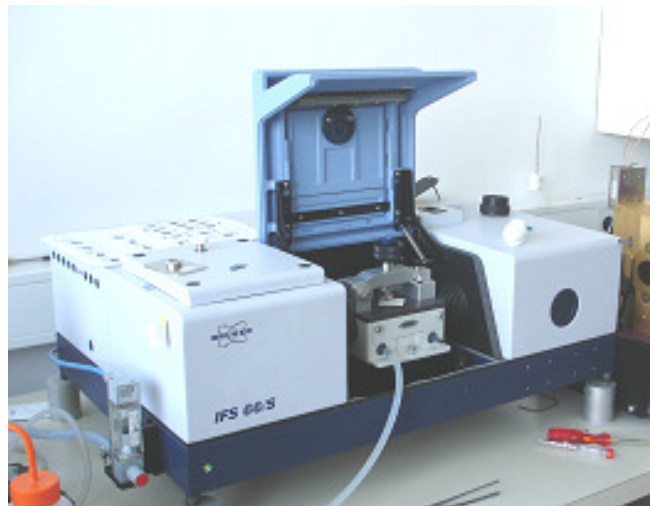
Določevanje upogljivosti pri nizkih temperaturah bitumenskih trakov predpisuje standard SIST EN 1109: 2000. Upogljivost je definirana kot temperatura, pri kateri bitumenski trak lahko zvijemo okrog trna (Slika 5), ne da bi se pri tem pojavile razpoke. Predpisana je priprava vzorca (s površine moramo odstraniti zaščitno PE folijo), način ohlajevanja vzorcev (izključno v temperaturno regulirani kopeli), hitrost gibanja trna (360 \pm 40 mm/min) kot tudi osvetlitev in drugi pogoji ob subjektivni oceni pojava razpok na vzorcu. Meritve upogljivosti pri nizkih temperaturah smo opravljali z opremo zamrzovalne skrinje za ohlajanje vzorcev do $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$, proizvajalca GORENJE, Velenje, meritev prstan kroglica P / K na aparatu FOCHLER P / K Automat in določevanja upogljivosti pri nizkih temperaturah z aparatom izdelave po naročilu in umirjanju na ZAG Ljubljana.



Slika 5: Določevanje upogljivosti bitumenskih trakov pri nizkih temperaturah
Figure 5: Determination of bituminous sheets flexibility at low temperatures

4.1.3 Spektralna analiza

Meritve spektralne analize smo opravljali na Kemijskem inštitutu v Ljubljani. Tip spektrometra je BRUKER IFS 66 / S.



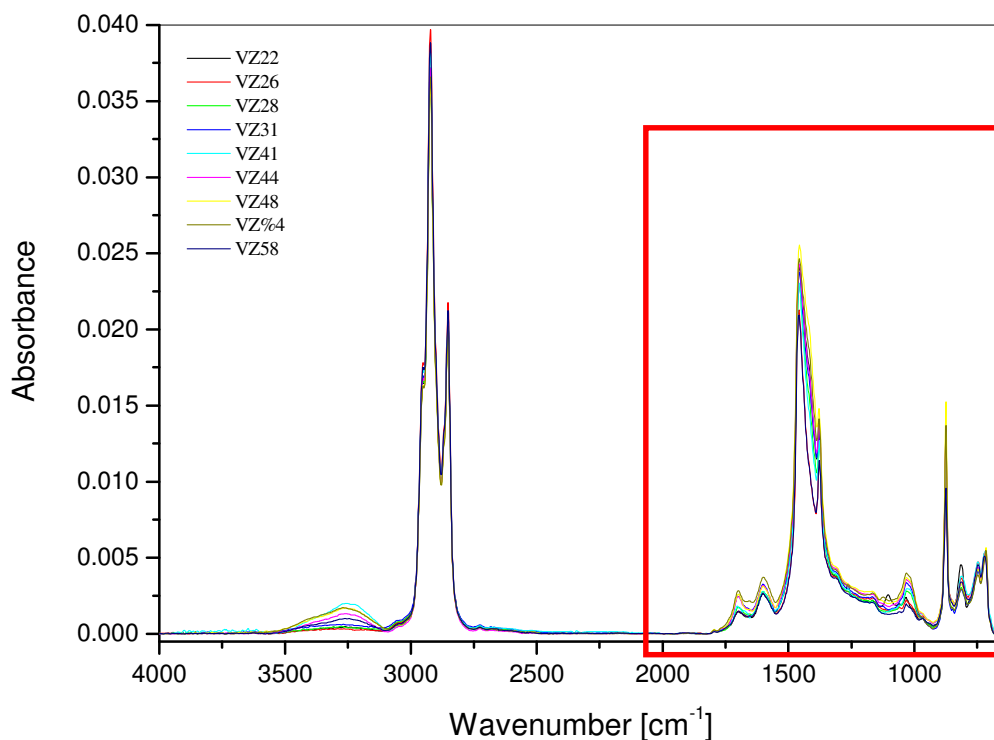
Slika 6: Infrardeči spektrometer BRUKER IFS 66 / S
Figure 6: Infrared spectrometer BRUKER IFS 66 / S

Omenjena aparatura omogoča metodo meritve z oslabljenim popolnim odbojem (Attenuated Total Reflectance – ATR). Uporablja se za analizo površin snovi in za karakterizacijo spojin, ki so pretanke ali pa preveč močno absorbirajo infrardečo (IR) svetlobo, da bi jih analizirali s transmisijsko tehniko spektroskopije. Tehnika temelji na Newtonovih preučevanjih popolnega odboja svetlobe na fazni meji med dvema snovema z različnima lomnima količnikoma. Med kristali ATR in vzorcem moramo imeti dober stik. Kljub notranjemu odboju IR žarka na fazni meji med optično gostejšo snovjo (ATR kristal) in optično redkejšim vzorcem, del tega žarka nekoliko penetrira v vzorec. S tem pa odbita svetloba nosi informacijo o absorpcijskem spektru merjenega vzorca. Dobljeni spekter je odvisen od veliko parametrov: lomnega količnika ATR kristala in vzorca, vpadnega kota svetlobe, debeline in površine vzorca, števila odbojev in valovne dolžine svetlobe. Svetloba z daljšo valovno dolžino globlje penetrira v vzorec, posledica tega je, da so izmerjeni IR trakovi pri daljših valovnih dolžinah bolj intenzivni kot trakovi pri krajših valovnih dolžinah v ATR spektru iste snovi. Ker se globina penetriranja lahko spreminja s spreminjanjem ATR kristala ali vpadnega kota, je na ta način možno dobiti globinski profil površine [Ješe 2006].

4.1.4 Ovrednotenje rezultatov meritev

Iz pospešenega staranja vzorcev bitumenskega traku IZOTEM (rezultati meritev pospešenega staranja pri povišanih temperaturah so v Prilogi A in Prilogi B) lahko s pomočjo meritev upogljivosti pri nizkih temperaturah in s pomočjo meritev spektralne analize ugotovimo in sklepamo sledeče:

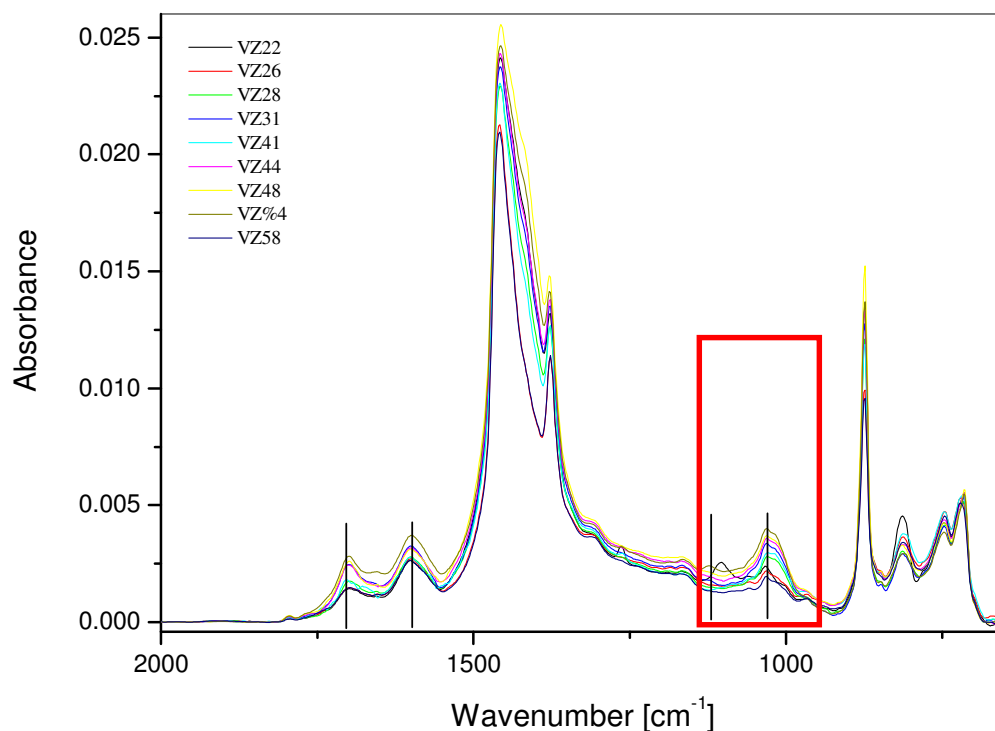
1. kriterij: izdelek IZOTEM je dotrajan, ko določimo vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. To se zgodi pri staranju na $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 10 dneh (vzorca št. 63 in 64) in pri staranju na $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 3 dneh (vzorec št. 21),
 2. kriterij: izdelek IZOTEM je dotrajan, ko določimo vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah $\pm 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. To se zgodi pri staranju na $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 20 dneh (vzorca št. 65 in 66) in pri staranju na $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 6 dneh (vzorec št. 23),
 3. kriterij: izdelek IZOTEM je dotrajan, ko določimo vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. To se zgodi pri staranju na $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 16 dneh (vzorec št. 44) in pri staranju na $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 9 dneh (vzorec št. 25),
 4. kriterij: izdelek IZOTEM je dotrajan, ko določimo vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. To se zgodi pri staranju na $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 18 dneh (vzorec št. 46) in pri staranju na $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 10 dneh (vzorec št. 28),
 5. kriterij: izdelek IZOTEM je dotrajan, ko določimo vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. To se zgodi pri staranju na $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 29 dneh (vzorca št. 69 in 70) in pri staranju na $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 9 dneh (vzorec št. 25),
 6. kriterij: izdelek IZOTEM je dotrajan, ko določimo vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. To se zgodi pri staranju na $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 29 dneh (vzorca št. 69 in 70) in pri staranju na $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 16 dneh (vzorec št. 44),
 7. kriterij: izdelek IZOTEM je dotrajan, ko določimo vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$. To se zgodi pri staranju na $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 21 dneh (vzorec št. 48) in pri staranju na $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 14 dneh (vzorec št. 36),
 8. kriterij: izdelek IZOTEM je dotrajan, ko določimo vrednost upogljivosti pri nizkih temperaturah $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$. To se zgodi pri staranju na $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 25 dneh (vzorec št. 50) in pri staranju na $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 14 dneh (vzorec št. 36),
 9. kriterij: v skladu s spektralno analizo (Grafikon 9) je izdelek IZOTEM dotrajan v primeru vzorca št. 44 (staranje 16 dni pri $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$) in vzorca št. 28 (staranje 10 dni pri $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$),
 10. kriterij: po rezultatih spektralne analize (Grafikon 9) je izdelek IZOTEM dotrajan v primeru vzorca št. 48 (staranje 21 dni pri $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$) in vzorca št. 31 (staranje 12 dni pri $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$).
-



Grafikon 4: Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEM (območje od 4000 - 400 cm^{-1}). IR spektri vseh preizkušenih vzorcev

Graph 4: Spectral analysis of aged bituminous sheet IZOTEM (from 4000 to 400 cm^{-1}). IR spectra of all tested samples

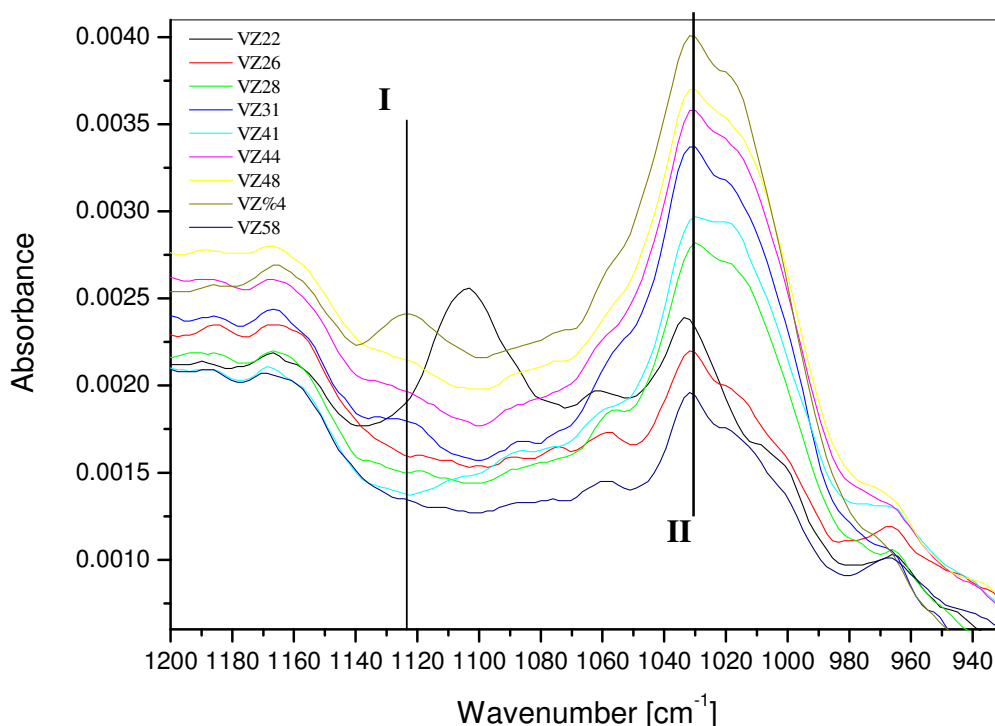
Vzorec št.	Temperatura staranja ($^{\circ}\text{C}$)	Pospešeno staranja (dni)	Opomba
22	+90 $^{\circ}\text{C}$	3 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
26	+90 $^{\circ}\text{C}$	9 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
28	+90 $^{\circ}\text{C}$	10 dni	uspešen test uporabljen v 9. kriteriju
31	+90 $^{\circ}\text{C}$	12 dni	uspešen test uporabljen v 10. kriteriju
41	+80 $^{\circ}\text{C}$	3 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
44	+80 $^{\circ}\text{C}$	16 dni	uspešen test uporabljen v 9. kriteriju
48	+80 $^{\circ}\text{C}$	21 dni	uspešen test uporabljen v 10. kriteriju
54	+80 $^{\circ}\text{C}$	36 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
56	+80 $^{\circ}\text{C}$	36 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
58	sobna temperatura	65 dni	brez pospešenega staranja



Grafikon 5: Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEM (območje od 2000 - 400 cm^{-1}). IR spektri vseh preizkušanih vzorcev

Graph 5: Spectral analysis of aged bituminous sheet IZOTEM (from 2000 to 400 cm^{-1}). IR spectra of all tested samples

Vzorec št.	Temperatura staranja ($^{\circ}\text{C}$)	Pospešeno staranja (dni)	Opomba
22	+90 $^{\circ}\text{C}$	3 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
26	+90 $^{\circ}\text{C}$	9 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
28	+90 $^{\circ}\text{C}$	10 dni	uspešen test uporabljen v 9. kriteriju
31	+90 $^{\circ}\text{C}$	12 dni	uspešen test uporabljen v 10. kriteriju
41	+80 $^{\circ}\text{C}$	3 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
44	+80 $^{\circ}\text{C}$	16 dni	uspešen test uporabljen v 9. kriteriju
48	+80 $^{\circ}\text{C}$	21 dni	uspešen test uporabljen v 10. kriteriju
54	+80 $^{\circ}\text{C}$	36 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
56	+80 $^{\circ}\text{C}$	36 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
58	sobna temperatura	65 dni	brez pospešenega staranja

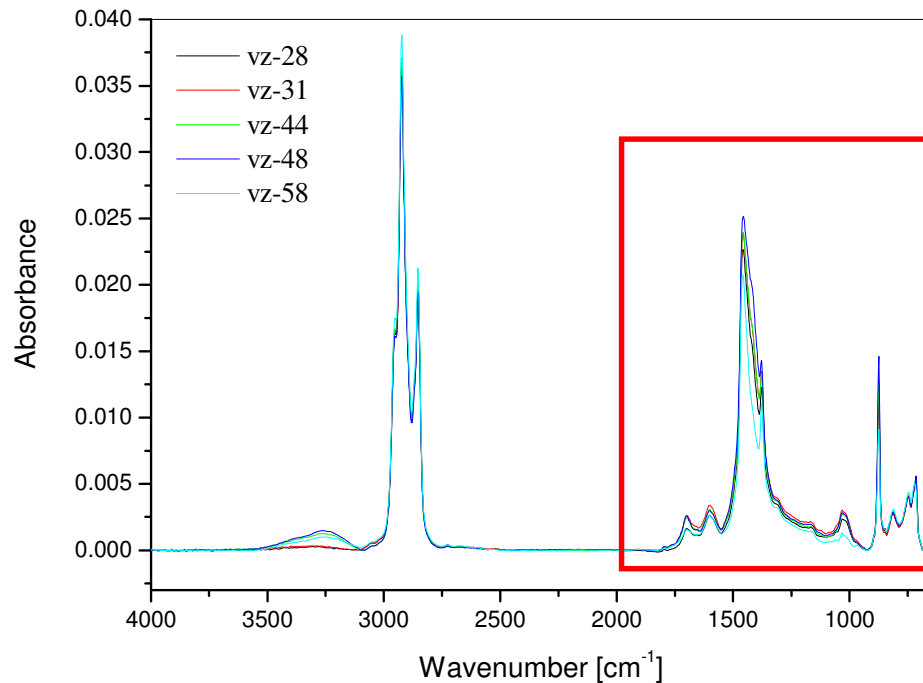


Grafikon 6: Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEM (območje od 1200 – 930 cm^{-1}). IR spektri vseh preizkušenih vzorcev

Graph 6: Spectral analysis of aged bituminous sheet IZOTEM (from 1200 to 930 cm^{-1}). IR spectra of all tested samples

Vzorec št.	Temperatura staranja ($^{\circ}\text{C}$)	Pospešeno staranja (dni)	Opomba
22	+90 $^{\circ}\text{C}$	3 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
26	+90 $^{\circ}\text{C}$	9 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
28	+90 $^{\circ}\text{C}$	10 dni	uspešen test uporabljen v 9. kriteriju
31	+90 $^{\circ}\text{C}$	12 dni	uspešen test uporabljen v 10. kriteriju
41	+80 $^{\circ}\text{C}$	3 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
44	+80 $^{\circ}\text{C}$	16 dni	uspešen test uporabljen v 9. kriteriju
48	+80 $^{\circ}\text{C}$	21 dni	uspešen test uporabljen v 10. kriteriju
54	+80 $^{\circ}\text{C}$	36 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
56	+80 $^{\circ}\text{C}$	36 dni	neuspešno, kemijska razgradnja
58	sobna temperatura	65 dni	brez pospešenega staranja

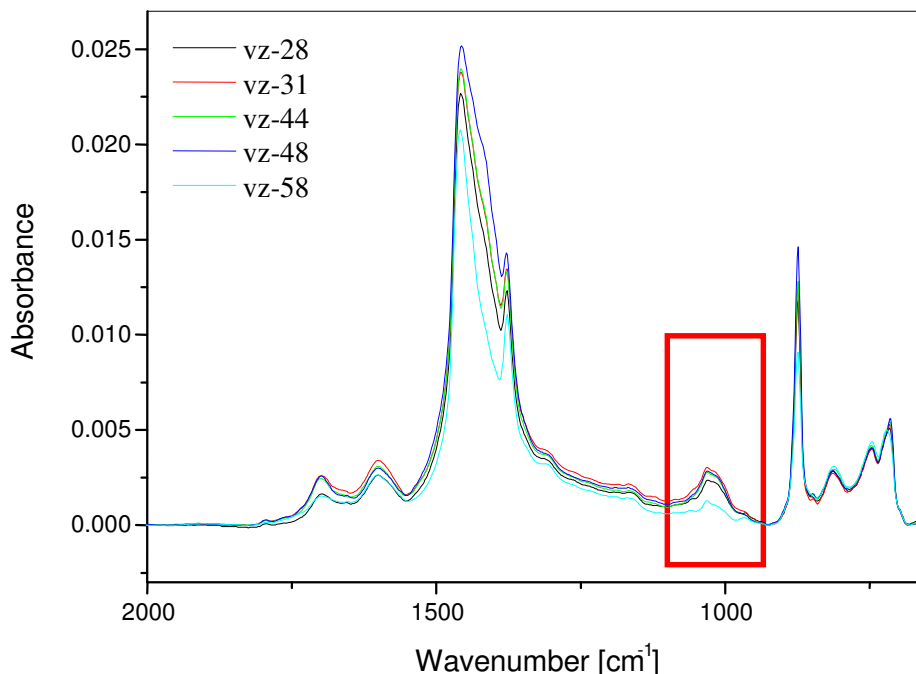
Vertikalni liniji I in II (Grafikon 6) označujeta vibracijske trakove (analogno tudi v grafikonih: Grafikon 4 in Grafikon 5), ki v IR spektrih nakazujejo spremembe v strukturi vzorcev, do katerih pride pri pospešenem staranju. Tekom procesa pospešenega staranja se pojavljajo spremembe v spektrih, ki so velike in odražajo veliko degradacijo materialov. Za te vzorce določitev vrednosti aktivacijskih energij ni smiselna. Zato nam je analiza IR spektrov omogočila izluščiti tiste vzorce, katerih pospešeno staranje še vodi k stabilnemu, čeprav zaradi pospešenega staranja, že deloma razgrajenemu materialu. To smo preverili z izračunom (enačbi 4.1 in 4.2, stran 60) aktivacijskih energij različnih parov vzorcev, staranih na različne načine. Tako na primer je za vzorec št. 44, staran 16 dni na +80 °C in vzorec št. 28, staran 10 dni na +90 °C, možno določiti v skladu z enačbama (4.1 in 4.2), aktivacijsko energijo 50,119 kJ/mol (Preglednica 7, stran 60, 9. kriterij). Prav tako smo tudi za vzorec št. 48, staran 21 dni na +80 °C in vzorec št. 31, staran 12 dni na +90 °C, z analognim izračunom, dobili podobno vrednost aktivacijske energije 59,675 kJ/mol (Preglednica 7, stran 60, 10. kriterij). Ostali, preveč degradirani vzorci, pa nudijo neadekvatne (prevelike ali premajhne) vrednosti za aktivacijsko energijo, posebej še, če te vrednosti primerjamo z aktivacijskimi vrednostmi, dobljenimi iz primerjave mehanskih lastnosti vzorcev (upogljivost pri nizkih temperaturah, poglavje 4.1.2, stran 50). Pregled IR spektrov ostalih, prekomerno staranih vzorcev, ki so bili starani bodisi dalj časa in pri previsokih temperaturah, v primerjavi z nestaranimi ali pri zmernih pogojih staranimi vzorci, kažejo nove dodatne vibracijske trakove. Za te vzorce so aktivacijske energije drugačne od tistih, ki opisujejo staranje materiala glede na predpisano življenjsko dobo in jih zato ne upoštevamo pri analizi.



Grafikon 7: Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEM (območje od 4000 - 650 cm⁻¹). IR spektri vzorcev ustrezajo tretiranju vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 28 (+90 °C, 10 dni, črna krivulja), vzorec 31 (+90 °C, 12 dni, rdeča krivulja), vzorec 44 (+80 °C, 16 dni, zelena krivulja), vzorec 48 (+80 °C, 21 dni, temno modra krivulja) in vzorec 58 (nestaran vzorec, svetlo modra krivulja)

Graph 7: Spectral analysis of aged bituminous sheet IZOTEM (from 4000 to 650 cm⁻¹). IR spectra corresponds to treatments under the following conditions: sample 28 (+90 °C, 10 days, black line), sample 31 (+90 °C, 12 days, red line), sample 44 (+80 °C, 16 days, green line), sample 48 (+80 °C, 21 days, dark blue line) and sample 58 (no accelerated ageing, light blue line)

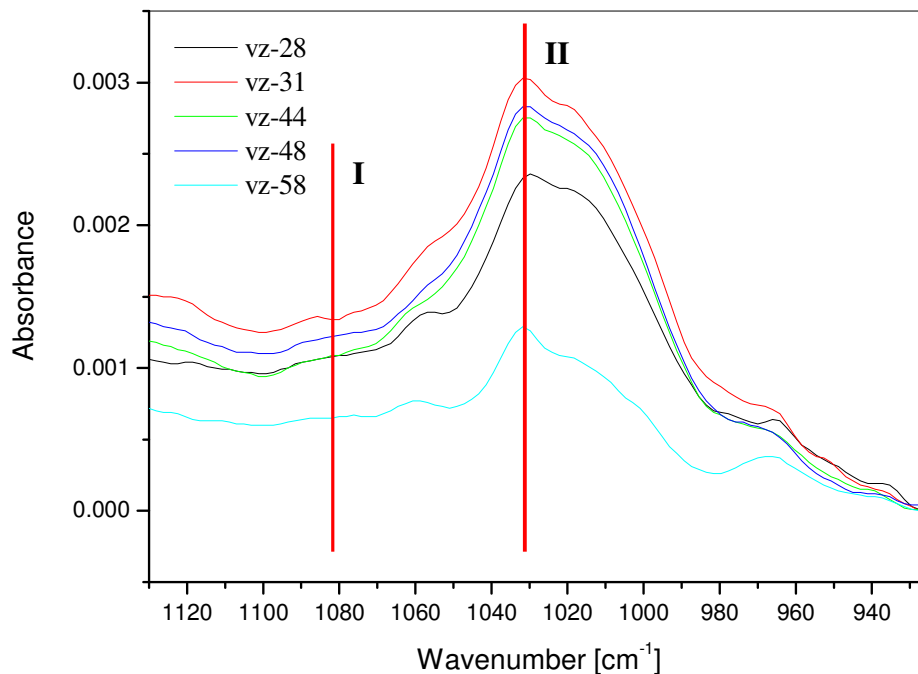
Območje okvirja v grafikonu (Grafikon 7) je prikazano in vrednoteno v sledečem grafikonu (Grafikon 8).



Grafikon 8: Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEM (območje od 2000 - 650 cm⁻¹). IR spektri vzorcev ustrezajo tretiranju vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 28 (+90 °C, 10 dni, črna krivulja), vzorec 31 (+90 °C, 12 dni, rdeča krivulja), vzorec 44 (+80 °C, 16 dni, zelena krivulja), vzorec 48 (+80 °C, 21 dni, temno modra krivulja) in vzorec 58 (nestaran vzorec, svetlo modra krivulja)

Graph 8: Spectral analysis of aged bituminous sheet IZOTEM (from 2000 to 650 cm⁻¹). IR spectra corresponds to treatments under the following conditions: sample 28 (+90 °C, 10 days, black line), sample 31 (+90 °C, 12 days, red line), sample 44 (+80 °C, 16 days, green line), sample 48 (+80 °C, 21 days, dark blue line) and sample 58 (no accelerated ageing, light blue line)

Območje okvirja v grafikonu (Grafikon 8) je prikazano in vrednoteno v sledečem grafikonu (Grafikon 9).



Grafikon 9: Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEM (območje od 1130 – 930 cm^{-1}). IR spektri vzorcev ustrezajo tretiranju vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 28 (+90 °C, 10 dni, črna krivulja), vzorec 31 (+90 °C, 12 dni, rdeča krivulja), vzorec 44 (+80 °C, 16 dni, zelena krivulja), vzorec 48 (+80 °C, 21 dni, temno modra krivulja) in vzorec 58 (nestaran vzorec, svetlo modra krivulja)

Graph 9: Spectral analysis of aged bituminous sheet IZOTEM (from 1130 to 930 cm^{-1}). IR spectra corresponds to treatments under the following conditions: sample 28 (+90 °C, 10 days, black line), sample 31 (+90 °C, 12 days, red line), sample 44 (+80 °C, 16 days, green line), sample 48 (+80 °C, 21 days, dark blue line) and sample 58 (no accelerated ageing, light blue line)

Laboratorijske meritve spektralne analize vzorcev bitumenskega traku IZOTEM (Grafikon 9) pokažejo, da je za vzorce (28, 31, 44 in 48) dosežena določena dotrajanost bitumenskih trakov. Vzorec številka 58 ni dotrajan, ker ni bil pospešeno staran.

Po enačbi 3.8 (stran 34) in literaturi [Carlsson et al. 2001, Carlsson et al. 2004 in Köhl et al. 2004] določamo degradacijo ob povišani temperaturi na sledeči način:

$$a_T = \frac{\tau_1}{\tau_2} = e^{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad \Rightarrow \quad E_a = \frac{R \ln a_T}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad \text{(Enačba 4.1)} \quad \text{(Enačba 4.2)}$$

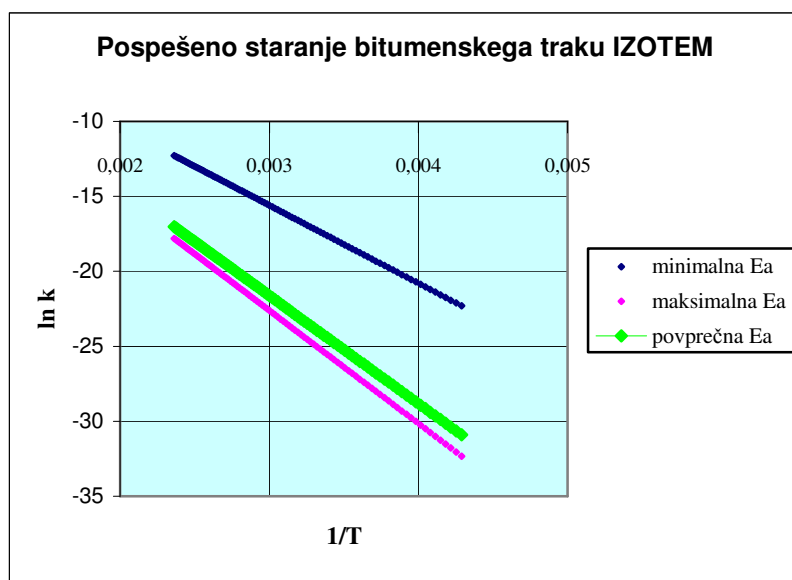
Preglednica 7: Aktivacijska energija bitumenskega traku IZOTEM
Table 7: Activation energy of bituminous sheet IZOTEM

Kriterij	Temperatura staranja +70 °C		Temperatura staranja +80 °C		Temperatura staranja +90 °C		Aktivacijska energija E _a (kJ/mol)
	Vzorec št.	Staranje (dni)	Vzorec št.	Staranje (dni)	Vzorec št.	Staranje (dni)	
1. upogljivost pri -4°C	63 in 64	10	-	-	21	3	62,376
2. upogljivost pri +0°C	65 in 66	20	-	-	23	6	62,376
3. upogljivost pri +4°C	-	-	44	16	25	9	61,355
4. upogljivost pri +4°C	-	-	46	18	28	10	62,679
5. upogljivost pri +4°C	69 in 70	29	-	-	25	9	60,619
6. upogljivost pri +4°C	69 in 70	29	44	16	-	-	59,925
7. upogljivost pri +8°C	-	-	48	21	36	14	43,237
8. upogljivost pri +8°C	-	-	50	25	36	14	61,830
9. spektralna analiza	-	-	44	16	28	10	50,119
10. spektralna analiza	-	-	48	21	31	12	59,675
Povprečna vrednost:						58,419 kJ/mol	

Iz tako pridobljenih rezultatov (Preglednica 7) razberemo, da je vrednost aktivacijske energije izdelka IZOTEM, sestavljenega iz oksidiranih bitumnov, 58 419 J/mol ali zaokroženo na 58,4 kJ/mol (vsi nadaljnji izračuni temeljijo na zaokroženi vrednosti

58,4 kJ/mol). Iz tako dobljene vrednosti aktivacijske energije lahko predvidimo obnašanje izdelka ob izpostavljanju pri drugih temperaturah. Pri tem se moramo zavedati, da ekstrapolacija na večje temperaturne intervale ni natančna, kajti v teh primerih postaja vpliv v Arrheniusovi enačbi zanemarljivega temperaturno odvisnega predeksponentnega faktorja vse večji, dobljeni rezultati pa vse bolj nenatančni. To smo neodvisno dobili že iz analiz IR spektrov (grafikoni na straneh od 53 do 59).

Rezultate dobljene aktivacijske energije lahko prikažemo v skladu z Arrheniusovim zakonom v grafični obliki:



Grafikon 10: Pospešeno staranje bitumenskega traku IZOTEM
Graph 10: Accelerated ageing of bituminous sheet IZOTEM

Grafikon 10 predstavlja v skladu z Arrheniusovim zakonom odnos med logaritmom reakcijske konstante ($\ln k$) in temperaturo ($1/T$). Krivulja modre barve predstavlja minimalno aktivacijsko energijo (E_a) z vrednostjo 43,237 kJ/mol, ki smo jo dobili z vzorcema 48 in 36 (Preglednica 7, stran 60, 7. kriterij) pri staranju na temperaturah +80 °C v 21 dneh in na temperaturi +90 °C po 14 dneh. Ta vrednost zelo odstopa (manjša je za 26 %) od povprečne aktivacijske energije (58,419 kJ/mol, krivulja zelene barve). Maksimalna vrednost aktivacijske energije je veliko bližje povprečni vrednosti (samo za 7,3 % višja, krivulja roza barve) in znaša 58,419 kJ/mol. To smo dobili v primeru vzorcev 46 in 28 (Preglednica 7, stran 60, 4. kriterij), pri staranju na +80 °C v 18 dneh in pri temperaturi +90 °C po 10 dneh staranja.

Preglednica 8: Ekstrapolacija pospešenega staranja na krajša časovna obdobja
Table 8: Extrapolation of accelerated ageing on shorter time periods

Pospešeno staranje (tednov)	24	21	18	15	12	9	6*	3*	2*	1*
Temperatura staranja (°C)	+70,0	+72,3	+74,9	+78,1	+82,0	+87,3	+95,0	+108,8	+117,4	+133,1

*ker se dogajajo nepovratne poškodbe (kemijska razgradnja), izdelek IZOTEM ne smemo dolgotrajno izpostaviti tako visokim temperaturam

Podobno lahko izvedemo, v skladu s teorijo pospešenega staranja, tudi ekstrapolacijo na daljšo dobo izpostavljenosti:

Preglednica 9: Ekstrapolacija pospešenega staranja na daljša časovna obdobja
Table 9: Extrapolation of accelerated ageing on longer time periods

Pričakovana življenjska doba (let)	1/2	1	2	3	5	8	10*	12*	15*	20*
Temperatura ob uporabi (°C)	+68,7	+57,5	+47,1	+41,3	+34,2	+28,0	+23,9	+25,2	+20,1	+16,7

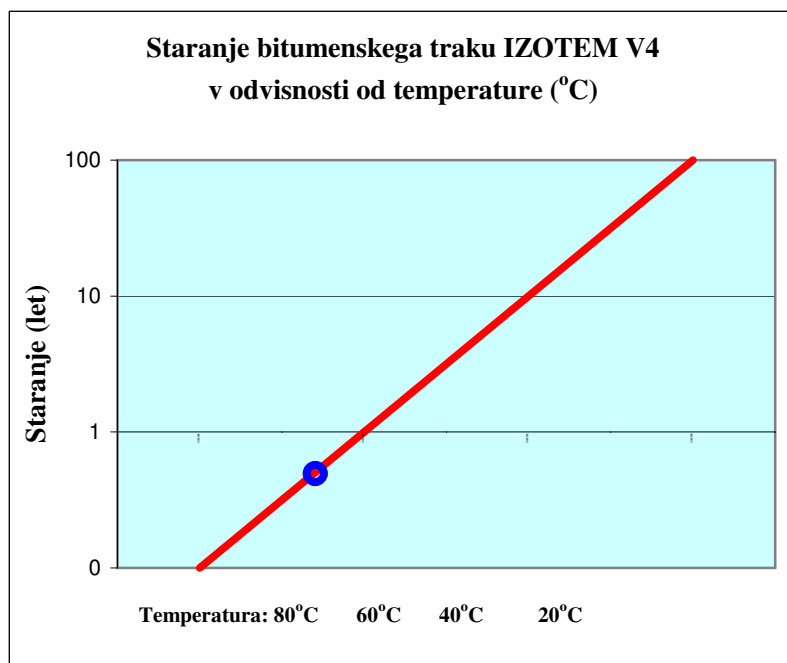
* vprašljiva je natančnost ekstrapolacije na tako dolge življenjske dobe staranja

Po standardu (SIST EN 1296 in SIST EN 1297) traja postopek staranja bitumenskih trakov za namembnost hidroizolacije ravnih streh 24 tednov pri +70,0 °C. V kolikor želimo pospešiti staranje (Preglednica 8), potem bi morali za skrajšano obdobje 12 tednov dvigniti temperaturo staranja na +82,0 °C, za obdobje 9 tednov na +87,3 °C ali za obdobje 6 tednov na +95,0 °C, da bi povzročili enak vpliv na staranje bitumenskega traku, kakor jo predpisuje standard. Poudariti moramo, da je staranje 24 tednov pri +70,0 °C v skladu z zgoraj omenjenima standardoma namenjeno hidroizolacijskim trakovom za namene tesnenja ravnih streh in zato bitumenski trak IZOTEM takšne temperaturne obremenitve ne vzdrži brez delnih poškodb.

Staranje v skladu s časi in temperaturami navedenimi v preglednicah (Preglednica 8 in Preglednica 9) je takšno, da ne nastopi popolni razpad izdelka oziroma konec življenjske dobe, razen v primerih izredno visokih temperatur, ko nastopijo takšne poškodbe bitumna, ki privedejo do nepovratnih sprememb ali do kemijske razgradnje. S kombinacijo dobe staranja in njej pripadajoče temperature (Preglednica 8 in Preglednica

9) smo dosegli dotrajanost bitumenskega traku v vseh primerih časov in temperatur, enako kot to predpisujeta standarda SIST EN 1296 in SIST EN 1297, to je temperaturo $+70^{\circ}\text{C}$ in čas trajanja 24 tednov.

S pomočjo meritev smo tudi ugotovili, da je določevanje aktivacijske energije zelo odvisno od natančnosti v izvedbi postopka staranja. Če nismo natančno vzdrževali temperature staranja, se ta napaka intenzivno pokaže v pregrobi oceni rezultatov staranja in preveliki napaki ocene aktivacijske energije. Na ta problem smo naleteli pri meritvah vzorcev, ki so bili starani v sušilniku na zgornji ali spodnji polici. Z meritvami smo ugotovili, da so vzorci, ki so bili zgoraj (sode številke vzorcev, reprezentančni vzorci med njimi so: 22, 24, 26, 28, 36, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 50, 64, 74 in 76, skupaj 15 vzorcev od vseh skupaj 51 vzorcev), zaradi komaj zaznavno višjih temperatur hitreje starani kot vzorci na spodnji polici (lihe številke vzorcev, reprezentančni vzorci med njimi so: 21, 23, 25, 27, 35, 43, 45, 47, 49, 51, 53, 55, 63, 73 in 75, skupaj 15 vzorcev, od vseh skupaj 51 vzorcev). Po analogiji lahko torej sklepamo, da meritve in posledično rezultati, prav tako kakor od natančne temperature, zavisijo od natančnega odmerjanja časa staranja.



Grafikon 11: Staranje bitumenskega traku IZOTEM v odvisnosti od temperature
Graph 11: Ageing of bituminous sheet IZOTEM in relation to temperature

Iz tako dobljenih rezultatov, to je z eksperimentom pospešenega staranja in Arrheniusove teorije dobljene aktivacijske energije in na podlagi tega posledično izračunani časi in temperature staranja (Preglednica 8 in Preglednica 9), lahko izrišemo grafikon (Grafikon 11), ki prikazuje pričakovano življenjsko dobo v odvisnosti od temperature staranja. Staranje v skladu s standardoma SIST EN 1296 in SIST EN 1297 (24 tednov na +70 °C), je prikazano v grafikonu (Grafikon 11) z modro točko.

4.2 Testiranja pospešenega staranja bitumenskega traku IZOTEKT

Na podoben način kot za bitumenski trak IZOTEM smo želeli izvesti tudi testiranje pospešenega staranja bitumenskega traku IZOTEKT T5 PLUS. Izdelek je v skladu s standardom SIST EN 13707 z namembnostjo za spodnji sloj ali sloj pod težko zaščito in ustreza tudi standardu SIST EN 13969 tip T. Bitumenska masa je iz plastomernih bitumnov (dodan je APP – ataktični polipropilen) in z dodatki polnil. Nosilec ali armatura je iz steklene tkanine gramature 200 g/m².

Bitumenski trak je bil proizveden 28. februarja 2007 v tovarni FRAGMAT TIM Laško. Na svežem vzorcu so bile ugotovljene sledeče fizikalne lastnosti: upogljivost na nizkih temperaturah je bila -10 °C, vrednost P/K +150,0°C. Postopek staranja smo izvajali z isto opremo kot v primeru staranja bitumenskega traku IZOTEM in je potekala pri temperaturah +100 °C, +120 °C in +140 °C. Primerjavo smo izvajali s staranjem istih vzorcev pri sobni temperaturi (+20 °C +/- 5 °C).

4.2.1 Ovrednotenje rezultatov meritev

Dokaz za pretirane pogoje staranja, v našem primeru so to previsoka temperatura in predolgi časi staranja, so kemijsko razpadli mehansko nestabilni vzorci. Rezultati meritev teh vzorcev in izračunana aktivacijska energija niso ponovljivi in ne dajo smiselnih korelacij. Omenjeni kemijski razpad vidimo tudi iz spektralne analize (Priloga B) in so v skladu z rezultati mehanskih lastnosti vzorcev (Priloga A), pri katerih z metodo upogljivosti pri nizkih temperaturah nismo mogli ugotoviti stopnje dotrajanosti. Vzorci so bili namreč v večini primerov, tudi zaradi relativno velike debeline (5 mm), že pri sobnih temperaturah neobstojni na testiranje upogljivosti pri nizkih temperaturah.

5 EKONOMSKO VREDNOTENJE STROŠKOV V ŽIVLJENJSKEM CIKLUSU

Pri ekonomskem vrednotenju stroškov v življenjskem ciklusu zasledujemo, merimo in čim bolj natančno simuliramo naslednje ekonomske parametre: denarni tok (cash flow), inflacijo, diskontne stopnje, ceno kapitala, neto sedanjo vrednost (NPV), davčne stopnje, amortizacijo, financiranje, tveganje, negotovost, splošno gospodarsko klimo, če naštejemo le nekaj najbolj pomembnih.

5.1 Ekonomski kazatelji

5.1.1 Projekt

Projekt je investicijska dejavnost, za katero so potrebni viri za pokrivanje stroškov, s katerimi se izvedejo stalna sredstva, ki bodo v naslednjih obdobjih omogočila pridobivati koristi in vse kar je logično povezano s planiranjem in financiranjem ustvarjanja celote, ter je ekonomsko neodvisen niz aktivnosti, ki se nanašajo na specifično tehnično opravilo in imajo pri tem občutljive cilje. Tudi faze projekta so tehnično in finančno neodvisne in imajo svoje učinke [Strukturni skladi EU v Sloveniji 2004].

5.1.2 Ekonomska doba

Pomeni čas od začetka projekta (od prvega plačila investicijskih stroškov), preko uvajanja proizvodnje, do polnega koriščenja zmogljivosti. Ko začne proizvodnja upadati (zaradi zastarelosti zmogljivosti ali pa tudi zaradi trženjske zastarelosti proizvodov), se konča ekonomska doba projekta (čeprav njegova življenjska doba še traja) [Lužnik et al. 1991].

5.1.3 Cenovna elastičnost in elastičnost razmerja

Koeficient elastičnosti ali cenovna elastičnost povpraševanja je razmerje med odstotkovno spremembo povpraševane količine in odstotkovno spremembo relevantne spremenljivke (cena, dohodek). Cenovna elastičnost ali prožnost je povezana z odzivnostjo povpraševalcev. [Mansfield 1993].

$$E = \frac{\Delta Q}{Q} / \frac{\Delta p}{p} \quad (\text{Enačba 5.1})$$

Q	količina (kosov, m ² , m ³ , kg, ton
Δ Q	sprememba količine (kosov, m ² , m ³ , kg, ton
p	cena, dohodek (€)
Δ p	sprememba cene ali sprememba dohodka (€)

Nekaj primerov vrednosti koeficienta elastičnosti **E**:

E < 0	negativna elastičnost, povečanje cene pomeni tudi povečanje količin in obratno, znižanje cene pomeni znižanje količin,
E → 0	sprememba cene ne povzroča velikih sprememb prodanih količin,
E = 0	popolna neelastičnost, sprememba cene ne povzroča nobene spremembe prodanih količin, ekstremno povpraševanje,
E < 1	neelastično, sprememba cene ne povzroča tako velikih sprememb količin,
E > 1	elastično, sprememba cene pomeni spremembo količine,
E → ∞	popolna elastičnost, majhna sprememba cene povzroči neskončno veliko spremembo količine.

5.1.4 Diskontiranje in diskontna stopnja

Stroške in koristi, ki nastajajo v različnih obdobjih, je treba diskontirati. Diskontiranje je postopek določevanja sedanje vrednosti prihodnjih denarnih tokov. Torej prilagodimo

bodoče vrednosti stroškov ali koristi na današnjo raven z uporabo diskontne stopnje. Časovno bolj odmaknjeni finančni dogodki predstavljajo nižje vrednosti. Postopek s katerim razvrednotimo prihodnje vrednosti se imenuje diskontiranje.

Diskontna stopnja pomeni, v kolikšni meri so posamezni bodoči zneski danes manj vredni, odvisno od tega, kako daleč je realizacija posameznih zneskov časovno odmaknjena ter od diskontne stopnje, ki jo uporabljamo. Čim dlje v prihodnost so odmaknjeni posamezni zneski in čim višja je diskontna stopnja, tem manjša je njihova sedanja vrednost [Lužnik et al. 1991].

Diskontna stopnja je odstotna mera, s katero izračunamo sedanjo vrednost prihodnjih denarnih tokov. Diskontni faktorji so v običajnih razmerah manjši od 1,0. Finančna in ekonomska diskontna stopnja se lahko razlikujeta.

5.1.5 Točka preloma (*Break Even Point - BEP*)

Investitorja zanimajo kolikšni so vhodni stroški, ki še doprinesejo k pozitivnemu rezultatu projekta. Z drugimi besedami – minimalni donos, ki še krije stroške investicije.

5.1.6 Finančna interna stopnja donosnosti (*Internal Rate of Return - IRR*)

Je določena kot tista obrestna mera ali diskontna stopnja, pri kateri je neto sedanja vrednost investicije enaka nič [Mansfield 1993]:

$$NPV(S) = \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (\text{Enačba 5.2})$$

S_t stroški obratovanja ali finančni tok (strošek ali priliv) v času 't' (€)

n število let

IRR finančna interna stopnja donosnosti (%)

Interna stopnja donosnosti je tista diskontna mera, pri kateri se sedanja vrednost odlivov in sedanja vrednost prilivov izenačita [Lužnik et al. 1991]. Je tudi obrestna mera (diskontna stopnja), ki vsoto diskontiranih denarnih tokov izenači z nič [Strukturni skladi EU v Sloveniji 2004].

Projekt je sprejemljiv, če je interna stopnja donosa večja od relevantne diskontne stopnje; med več projekti izberemo tistega, ki ima večjo interno stopnjo donosa [Strukturni skladi EU v Sloveniji 2004].

5.1.7 Metoda vračilnega obdobja (Pay Back Period - PBP)

S to metodo ugotovimo dobo 'amortiziranja' investicije, zato jo včasih imenujemo tudi metoda amortiziranja naložbe. Z dobo amortiziranja investicije mislimo na rok, v katerem investicija s svojimi donosi povrne vložena denarna sredstva. Gre torej za enostavno metodo, ki ugotavlja čas, v katerem bomo dobili povrnjena investicijska sredstva.

Metoda je opredeljena kot čas, v katerem kumulativa neto prilivov finančnega toka projekta, v času določene naložbe, doseže vsoto investicijskih stroškov. Doba vračanja ne sme biti daljša od ekonomske dobe naložbe [Lužnik et al. 1991 in Strukturni skladi EU v Sloveniji 2004].

Žal ima metoda vračilnega obdobja nekaj pomanjkljivosti:

- ne upošteva časovne vrednosti denarja, kar pomeni, da ne upošteva, da je denar, ki ga prejmemo (ali izdamo) danes, več vreden kot enaka vsota denarja v prihodnosti,
- ne upošteva različne dinamike donosov, kar pomeni, da ne upošteva, da so odnosi skozi različna leta različno veliki.

Metoda se zato uporablja predvsem za investicije s kratko življenjsko dobo [Rebernik 1995].

5.1.8 Oportunitetni stroški

Definicija pomeni, da z uporabo kapitala za neki projekt izgubljam prihodek pri nekem drugem projektu – to je izguba prihodka iz alternativnega projekta ali vrednost vira v njegovi najboljši alternativni rabi.

Po definiciji so ti stroški zavržene priložnosti, torej ovrednotenje druge najboljše alternative, ki je nismo izbrali ali donosi, ki se jim odrekamo, da bi dobili več nečesa drugega [Rebernik 1995].

Tako imamo neposredni strošek, ko porabimo kapital za določen investicijski projekt (imenujemo ga potopljeni strošek): izgubo prihodka iz alternativnega projekta [Strukturni skladi EU v Sloveniji 2004].

Oportunitetni stroški se nam kažejo z dejstvom, da se moramo odreči (žrtvovati) določeni količini nekega proizvoda, če hočemo proizvajati več nekega drugega proizvoda. Oportunitetni stroški obstajajo samo v trenutku odločanja, takoj zatem izginejo, kar seveda pomeni, da se ti stroški nikoli ne realizirajo [Rebernik 1995].

5.1.9 Scenarijska analiza

Upoštevanje kombinacije določenih optimističnih in pesimističnih vrednosti izbrane skupine spremenljivk je lahko zelo koristno za opredeljevanje različnih scenarijev znotraj podanih hipotez. Da bi lahko opredelili optimistične in pesimistične scenarije, je potrebno za vsako kritično spremenljivko izbrati njene skrajne vrednosti znotraj opredeljenega niza vrednosti verjetnostne porazdelitve. Za vsako hipotezo se nato izračunajo kazalci.

5.1.10 Študija izvedljivosti (Feasibility Study)

Je študija za določeni projekt, s katero se določi, ali je projekt dovolj privlačen in opravičuje nadaljnjo in podrobnejšo obdelavo. Je tehnološko - tehnična in ekonomska podlaga za investicijsko odločitev. Zajema povzetke posamičnih analiz, študij, idejnih

in drugih projektov ter preostalih zbranih informacij, ki sestavljajo dokumentacijsko osnovo projekta. Pri projektih večje vrednosti izhaja iz predhodne, preinvesticijske študije. Podatki morajo biti v tem koraku že dovolj natančni, popolni in zanesljivi [Strukturni skladi EU v Sloveniji 2004].

Osnovna vsebina investicijske študije [Strukturni skladi EU v Sloveniji 2004] je:

- predstavitev projekta, cilj in namen,
- predstavitev investitorja in njegovih možnosti ter razvojnih sposobnosti,
- analiza stopnje in projekcija razvojnih možnosti prodaje in nabave,
- tehnološko – tehnične značilnosti projekta,
- predstavitev lokacije in njenih značilnosti,
- ekološki vidiki, predstavitev učinkov projekta na okolje,
- terminski plan izvedbe in drugi organizacijski vidiki in kadrovske rešitve,
- finančni elementi (vrednost investicije, stroški obratovanja, viri financiranja, finančni izkazi),
- ocena učinkov z analizo upravičenosti,
- analiza občutljivosti in tveganj,
- izbirna ocena (povzetek rezultatov).

5.1.11 Verjetnostna analiza tveganj

Potem ko so določene kritične spremenljivke znane, je za izdelavo analize tveganj treba za vsako od njih opredeliti tudi verjetnostno opredelitev, in sicer s točno določenim nizom vrednosti, porazdeljenih okrog njihove najboljše ocene iz osnovnega scenarija, ki jih uporabimo v izračunu.

5.1.12 Analiza občutljivosti

V času obratovanja nobena naložba ne bo dajala povsem enakih poslovnih rezultatov, kot so načrtovani v investicijskem programu. Vseh dogodkov v naprej ne moremo predvideti z gotovostjo, ampak planiramo samo bolj ali manj verjetne rezultate in iz njih računamo kazalce upravičenosti naložbe. Zato je pri presojanju naložbe pomembno, da

ugotovimo, koliko se lahko spremenijo posamezni stroški in koristi, da naložba, katere upravičenost smo dokazali s pomočjo izbranih naložbenih meril, ne postane neupravičena. Raziskavo o vplivih, ki jih imajo, v okviru nekega modela ali analitičnega postopka, spremembe vhodnih podatkov na končne rezultate in tako tudi na sklepe izvedene iz njih, imenujemo analizo občutljivosti. Ta pomeni ponavljanje izračuna rentabilnosti (interne stopnje donosnosti IRR, neto sedanje vrednosti NPV ali relativne neto sedanje vrednosti) ob spreminjanju posameznih planiranih vhodnih podatkov, oziroma postavk v finančnem ali ekonomskem toku projekta. Pri tem lahko spreminjamo samo en parameter ali več njih istočasno. Z analizo občutljivosti odkrivamo tako imenovane kritične parametre načrtovane naložbe. Kritični parametri so tisti elementi poslovnih prognoz (tiste postavke), katerih majhna sprememba močno spreminja končni rezultat in s tem tudi kazalce upravičenosti naložbe [Lužnik et al. 1991].

Namen analize občutljivosti je izbrati kritične spremenljivke in parametre modela, to je tiste spremembe, pozitivne ali negativne, ki najbolj vplivajo na IRR ali NPV v primerjavi z vrednostmi, ki kažejo najboljše rezultate v izhodiščnem primeru in torej povzročijo najrazličnejše spremembe teh parametrov. Merila, ki se privzamejo za izbiro kritičnih spremenljivk, se razlikujejo glede na posebnost posamičnega projekta in jih je treba izbrati za vsak primer posebej. Običajno je bilanca investicijskih projektov v prvih letih negativna in postane pozitivna šele kasneje [Strukturni skladi EU v Sloveniji 2004].

5.1.13 Vrednotenje stroškov in koristi (Cost Benefit Analysis - CBA)

Vrednotenje se izdelava pri finančni in ekonomski oceni, pri čemer se za večje ter druge z narodno – gospodarskega vidika pomembne projekte, upoštevajo tudi koristi, ki jih ni mogoče izraziti v denarju. V analizo je treba vključiti poleg neposrednih še posredne učinke in nemerljive vplive projekta, kakor je na primer izboljšanje kakovosti življenja in bivanja [Strukturni skladi EU v Sloveniji 2004].

5.1.14 Neto sedanja vrednost (*Net Present Value - NPV*)

Neto sedanja vrednost (NPV) je izredno učinkovita in razširjena metoda v vseh oblikah napovedovanj v ekonomiji. Zelo pomembna prednost te metode je, da življenjsko ali služno dobo izdelka ali sistema enostavno prevedemo v ekonomske kazalce. Metoda omogoča primerjavo celotnih stroškov investicije, pridobivanja surovin, izdelave gradbenih materialov, transporta, izgradnje, uporabe, vzdrževanja, zamenjave, adaptacije, rekonstrukcije, obnove, rušenja, odstranitve, recikliranja in deponiranja v celotnem življenjskem obdobju. S tem orodjem lahko primerjamo različne sisteme oziroma različne konstrukcijske sklope in tudi stroške celotnih objektov.

NPV je razlika med diskontiranim tokom vseh prilivov oziroma koristi in diskontiranim tokom vseh stroškov projekta. Cene, odlive in prilive je potrebno prevrednotiti – transponirati na raven sedanjih cen, da bi dobili normalna prioriteta razmerja. NPV odpravlja slabosti statičnega pristopa tako, da ocenjuje stroške in doprinese v prihodnjih letih tako, da jih diskontira (prevede) na sedanjo vrednost. Metoda temelji na spoznanju, da je evro, ki ga bomo prejeli (plačali) v prihodnosti, vreden manj kot evro, ki ga imamo v roki. Torej upoštevamo dejstvo, da je koristnost enega evra danes večja, kakor enega evra jutri. Vsakdo, ki ima denar danes lahko z njim kaj naredi, ga lahko investira in dobi obresti od njega [Mansfield 1993].

Evro danes lahko vložimo in pričakujemo obresti z donosom. To je osnovni zakon financ. Poleg tega je varen evro danes več vreden od rizičnega evra jutri [Brealey 1991].

Kdor bi želel imeti evro danes, bi lahko vzel posojilo, za katerega bi moral plačati obresti. Te obresti pa bi znižale neto vrednost izposojenega denarja. Neto vrednost evra po odbitku obresti, ki jih je bilo treba plačati za to, da smo ga dobili, imenujemo diskontirana sedanja vrednost [Rebernik 1995].

Pozitivna neto sedanja vrednost pomeni, da sedanja vrednost celotnega pozitivnega toka koristi presega sedanjo vrednost celotnega negativnega toka stroškov, oziroma da je razlika med vrednostjo proizvedenega ali ohranjenega bogastva in vrednostjo porabljenih sredstev pozitivna. Pravilo za naložbeno odločitev s pomočjo neto sedanje vrednosti je, da naložbo sprejmemo, če je njena neto sedanja vrednost večja od nič ($NPV > 0$), zavrnemo, če je manjša od nič, če pa je enaka nič, smo pri odločitvi

ravnodušni, če so enaki vsi drugi pogoji. V primeru več naložbenih možnosti izberemo tisto, ki ima najvišjo pozitivno neto sedanjo vrednost. Pravimo, da je naložba absolutno upravičena, kadar njena neto sedanja vrednost ni negativna [Lužnik et al. 1991].

NPV reflektira, predstavlja in omogoča transparentno primerjavo celotnih stroškov uporabnika, najemnika ali lastnika skozi celotno življenjsko obdobje [Rudbeck 2002]:

$$\begin{aligned} \text{NPV}_{\text{ celotni stroški}} = & \text{NPV}_{\text{ nakupa zemljišča}} + \text{NPV}_{\text{ projektiranja}} + \text{NPV}_{\text{ investicij}} + \\ & + \text{NPV}_{\text{ najema kapitala}} + \text{NPV}_{\text{ obratovanja}} + \text{NPV}_{\text{ energije}} + \text{NPV}_{\text{ vzdrževanja}} + \\ & + \text{NPV}_{\text{ popravila}} + \text{NPV}_{\text{ rekonstrukcij}} + \text{NPV}_{\text{ odstranitve}} - \text{NPV}_{\text{ odprodaje}} \end{aligned}$$

(Enačba 5.3)

Ker obstaja še veliko drugih stroškov in prilivov, enačbo enostavno prevedemo na:

$$\text{NPV} = \text{NPV}_0 + \sum_{t=1}^n \frac{\text{FT}_t}{(1+r)^t} \quad (\text{Enačba 5.4})$$

NPV₀ začetni ali nabavni stroški (€)

FT_t stroški obratovanja ali finančni tok (strošek ali priliv) v času **t** (€)

n število let

r letna diskontna stopnja (%)

(1/(1+r)^t) finančni diskontni faktor za diskontiranje (-)

NPV metoda ni uporabna v primeru medsebojne primerjave dveh ali več komponent ali sistemov z zelo različnimi življenjskimi dobami. Življenjska doba vseh elementov ali sistemov naj bi bila v splošnem daljša od pričakovane življenjske dobe za katero analizo NPV opravljamo.

Pri premoženju, ki ima zelo dolgo življenjsko dobo, se na koncu izbranega ocenjevalnega obdobja upošteva preostanek vrednosti, ki odraža njegovo potencialno tedanjo tržno vrednost.

Zelo pogosta napaka je izbira materiala ali celotnega sistema samo na podlagi začetnih stroškov investicije (material, gradnja in s tem povezani stroški). Velikokrat se izkaže, da najugodnejši sistem po nabavni ceni predstavlja izredno drago izbiro zaradi dragega vzdrževanja, kratke življenjske dobe in visokih stroškov energije.

Na stroške življenjskega ciklusa stavbe najmočneje vplivamo na stopnji projektiranja, to je takrat, ko so dejanski stroški najmanjši: dejanski stroški projektiranja so praktično v vseh primerih gradenj precej nižji kot stroški same gradnje ali stroški vzdrževanja in energije.

5.2 Vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu (Life Cycle Cost Assessment - LCCA)

Metodo, ki jo imenujemo tudi 'vseživljenjsko vrednotenje stroškov', uporabljamo za določevanje celotnih stroškov neke dobrine. Primerjamo lahko projekte, ki imajo različne začetne, gradbene, obratovalne in vzdrževalne stroške. Cilj je maksimaliziranje neto prihrankov oziroma minimaliziranje celotnih stroškov in hkratno zagotavljanje zahtevanega nivoja kakovosti, funkcionalnosti in oblike.

Stroški niso primerljivi, če se razlikujejo med seboj po času nastanka. Zato jih prevedemo, oziroma projeciramo na sedanjo vrednost – v današnje evre.

Obrestna mera predstavlja pričakovano obrestno mero v prihodnosti. Za investitorja predstavlja obrestna mera minimalno, vendar še sprejemljivo stopnjo donosa naložbe. Zavedamo se, da moramo v primeru investicij v nepremičnine upoštevati bolj konzervativne, to je nižje vrednosti obrestnih mer ali diskontnih stopenj.

Cilj metode ni doseči minimalne stroške v proizvodno – potrošniškem ciklusu, ampak je nujno seznaniti lastnike, kupce, prodajalce in uporabnike objektov s posledicami, ki jih v finančnem pogledu povzročajo posamezne odločitve. Na primer; izbira, položaj in

kakovost oken, izbira načina ogrevanja, izbira, debelina in učinkovitost toplotne izolacije ter projektiranje vseh drugih elementov objekta.

LCCA obravnava vse stroške (investicije, vzdrževanja, čiščenja, ogrevanja, ohlajevanja, klimatizacije in prisilnega ventiliranja) na vseh stopnjah življenjske dobe. Tako začetne stroške (nabava zemljišča in materialov, stroški projektiranja, graditve, soglasij, instalacij, opreme...), kot tudi bodoče stroške (stroški energije, obratovanja, vzdrževanja in odstranitve), ki se ovrednotijo za celotno dobo uporabe stavbe, instalacij in opreme, medtem ko NPV upošteva samo finančno analizo začetnih stroškov (nabava zemljišča in materialov, stroški projektiranja, graditve, soglasij, instalacij, opreme...) in bodočih stroškov (stroški energije, obratovanja, vzdrževanja in odstranitve). Ti stroški se ovrednotijo za celotno dobo uporabe stavbe, instalacij in opreme.

LCCA lahko pripomore k [Lipušček 2005]:

- identifikaciji možnosti za izboljšavo okoljevarstvenih zahtev na mnogih stopnjah življenjskega ciklusa,
 - pomaga pri odločitvah v industriji, vladnih in nevladnih organizacijah (strateško planiranje, določitev prioritet, dizajniranje izdelka ali procesa, redizajniranje v proizvodnji in uporabi),
 - izbira relevantnega pokazatelja v okoljevarstvenih zahtevah, skupaj s tehnikami meritev,
 - marketingu in prodaji (okoljevarstvene deklaracije, okoljevarstvene izjave in poudarjanje prednosti gradnje v skladu s celostnim načrtovanjem in oblikovanjem).
-

6 PRIMERI VREDNOTENJA STROŠKOV V ŽIVLJENJSKEM CIKLUSU RAZLIČNIH KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV RAVNIH STREH

6.1 Opis računskih primerov

Izvedli smo kritično presojo sistemov ravnih streh z analizo primerjave ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu. Pogosto so ravne strehe zaradi slabe kakovosti materialov in tudi zaradi nestrokovne vgradnje, izbire neustreznih rešitev, napačnega planiranja in nespoštovanja zakonitosti gradbene fizike, v splošnem s slabimi referencami. Posledično se jih investitorji, izvajalci in lastniki izogibajo. Velikokrat je slabi funkcionalnosti krivo tudi pomanjkljivo vzdrževanje, v mnogih primerih se tako ne opravljajo kontrolni pregledi površin, obrob, priključkov in odtokov ravnih streh, ki bi jih morali opravljati najmanj dvakrat letno.

V primerih, predvsem industrijskih, poslovnih in večnadstropnih stavb zaradi izredno dragih rešitev streh z večjimi nakloni, ki bi morale premoščati večje razpone, ne moremo izbrati poševnih streh, ampak lahko uporabimo le različne izvedbe ravnih streh [Rudbeck 2002]. V zadnjem času se te površine izvajajo v okolju in mikroklimi bolj prijazni obliki ozelenjenih ali zelenih streh. Pri slednjih je kakovost materialov, izvedba in tudi znanje projektiranja še bolj pomembna. Vedam, kot so gradbena fizika in kemija ter podobno, se priključijo še znanja o odvodnavanju, drenaži, zadrževanju vode za sušna obdobja, namakanju, hortikulturi in krajinski arhitekturi.

Ker življenjska doba ravnih streh zavisi tudi od stanja zaščite posameznih slojev ravnih streh, kot so; zaščita s škrljevim posipom, nasutje pranege prodca, plast toplotne izolacije ali celo sloji ozelenjenih streh, smo izbrali sestavo hidroizolacije in ostalih elementov ravnih streh tako, da je pričakovana doba različnih konstrukcijskih sklopov ravnih streh čim bolj enaka. Torej so manj zaščiteni sloji ravnih streh predvideni v več slojih, večje debeline in višje kakovosti, ter s tem tudi dražji, od tistih konstrukcijskih slojev, ki so že po sestavi pred temperaturnimi vplivi bolj zaščiteni.

Z namenom lažjega sklicevanja in razumevanja rezultatov uvedemo sledeče definicije:

Neto sedanja vrednost konstrukcijskega sklopa (NSV KS) predstavlja celotne, na sedanjo vrednost prevedene stroške v življenjski dobi določenega konstrukcijskega sklopa. Izračun lahko izvedemo s pomočjo pričakovane življenjske dobe in orodja poznanega iz ekonomije – neto sedanja vrednost (NSV ali NPV). Na ta način obratovalne ali uporabne življenjske dobe transponiramo v sedanjo denarno vrednost. Celotni stroški so stroški investicije, stroški ogrevanja, ohlajevanja, prisilnega ventiliranja, klimatizacije, stroški investicijskega vzdrževanja in zamenjav. Na primer, NSV KS (60), predstavlja neto sedanjo vrednost za predpostavljeno 60-letno življenjsko dobo konstrukcijskega sklopa. NSV KS RS (60) je oznaka za neto sedanjo vrednost konstrukcijskega sklopa ravne strehe v 60-letni pričakovani življenjski dobi.

Ekonomična debelina toplotne izolacije določenega konstrukcijskega sklopa, je tista debelina, pri kateri dosežemo minimalne NSV KS v celotni pričakovani življenjski dobi ob določeni ceni energije, ceni toplotnih izolacij in drugih predpostavkah.

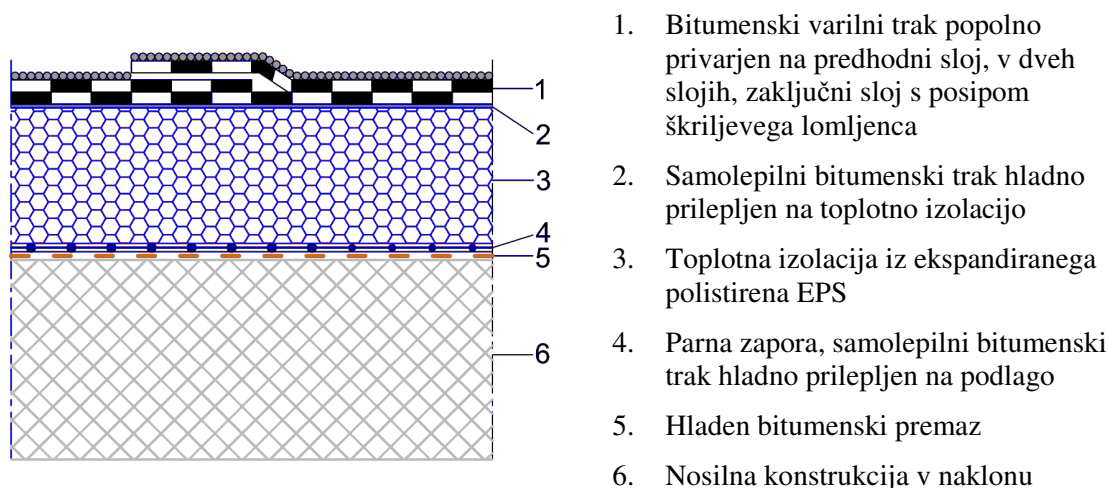
Optimalna debelina toplotne izolacije določenega konstrukcijskega sklopa upošteva ekonomično debelino toplotne izolacije, sedanje in tudi bodoče predvidene vplive zavestnega odločanja za večje varčevanje okolja in zniževanje porabe obnovljivih virov energije. Torej poleg analize, ki jo zajema ekonomična debelina, pri optimalni debelini toplotne izolacije, upoštevamo tudi predvidene trende gibanja cen energije, toplotnih izolacij, diskontnih stopenj, predvidenih življenjskih dob in načinov ter stroškov recikliranja in deponiranja.

6.1.1 Analizirani primeri konstrukcijskih sklopov ravnih streh

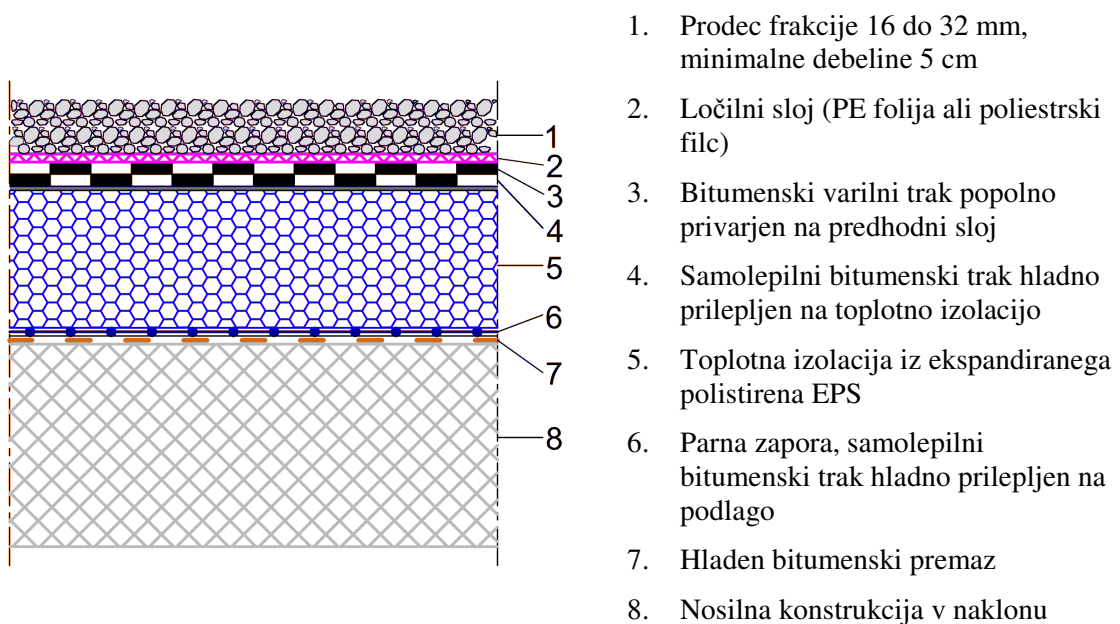
Na podlagi teoretičnih osnov Arrheniusovega zakona pospešenega staranja in na podlagi praktičnih meritev pospešenega staranja bitumenskih trakov ob izpostavljenosti visokim temperaturam smo oblikovali konstrukcijske sklope ravnih streh tako, da vsi ustrezajo isti pričakovani življenjski dobi.

Neto sedanjo vrednost konstrukcijskega sklopa (NSV KS) in oceno stroškov v življenjskem ciklusu (LCCA) smo primerjali za različne konstrukcijske sklope (KS) ravnih streh:

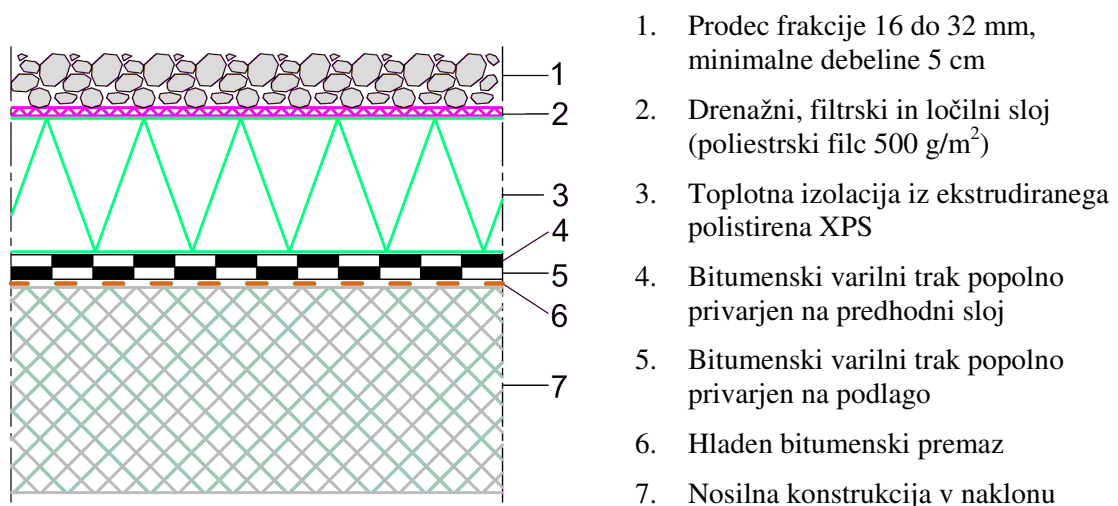
- topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom – KS 1 (Slika 7),
- topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem – KS 2 (Slika 8),
- obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem – KS 3 (Slika 9),
- duo – kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem – KS 4 (Slika 10),
- ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev – KS 5 (Slika 11).



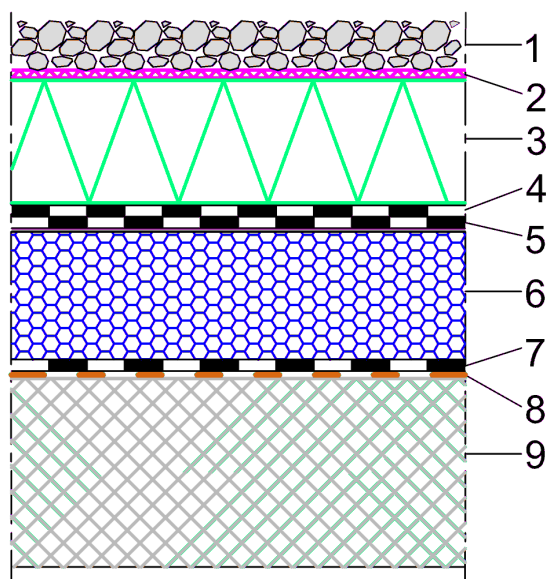
Slika 7: Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)
Figure 7: Thermal insulated flat roof, sheet protection with mineral-surface



Slika 8: Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)
Figure 8: Thermal insulated flat roof, load bearing - protection with gravel fill

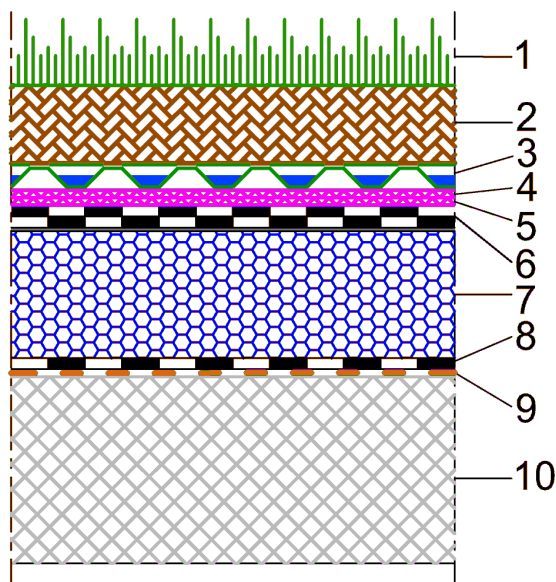


Slika 9: Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)
Figure 9: Inverted flat roof, protection with gravel fill



1. Prodec frakcije 16 do 32 mm, minimalne debeline 5 cm
2. Drenažni, filtrski in ločilni sloj (poliestrski filc 500 g/m²)
3. Toplotna izolacija iz ekstrudiranega polistirena XPS
4. Bitumenski varilni trak popolno privarjen na predhodni sloj
5. Samolepilni bitumenski trak hladno prilepljen na toplotno izolacijo
6. Toplotna izolacija iz ekspandiranega polistirena EPS
7. Parna zapora, samolepilni bitumenski trak hladno prilepljen na podlago
8. Hladen bitumenski premaz
9. Nosilna konstrukcija v naklonu

Slika 10: Duo – kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)
Figure 10: Combined dual or plus flat roof, protection with gravel fill



1. Ekstenzivna ozelenitev
2. Substrat za ekstenzivno ozelenitev (debeline 8 do 15 cm)
3. Drenažni in filtrski sloj
4. Ločilni sloj (PE folija v dveh slojih)
5. Bitumenski varilni trak popolno privarjen na predhodni sloj, tudi protikoreninska zaščita
6. Samolepilni bitumenski trak hladno prilepljen na toplotno izolacijo
7. Toplotna izolacija iz ekspandiranega polistirena EPS
8. Parna zapora, samolepilni bitumenski trak hladno prilepljen na podlago
9. Hladen bitumenski premaz
10. Nosilna konstrukcija v naklonu

Slika 11: Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Figure 11: Flat green roof, extensive vegetation

6.1.2 Robni pogoji in predpostavke

Stroški gradnje, stroški vzdrževanja, stroški porabe energije v življenjski dobi, ki jih označimo kot NSV KS RS (60), kakovosti bivanja in nivo splošne kakovosti ravnih streh so odvisni od sledečih spremenljivk:

- debeline toplotne izolacije,
- zaščite ravne strehe (tankoslojni posip škriljevega lomljenca, debeloslojni posip pranega prodca, toplotna izolacija v primeru obrnjene ravne strehe ali sloji ozelenitve pri ozelenjeni strehi),
- konstrukcije ravne strehe: topla, hladna - prezračevana, obrnjena,
- velikosti ravne strehe,
- kakovosti oblikovanja, načrtovanja in projektiranja,
- kakovosti vgrajevanja, natančnosti varjenja preklopov, izvedbe detajlov in priključkov,
- letnega časa in vremenskih pogojev ob vgradnji,
- kakovosti vgrajenih materialov,
- cene vgrajenih materialov, pritrtil in energije potrebne za vgradnjo (predvsem plin za varjenje),
- stroškov dela vgradnje,
- stroškov periodičnih pregledov,
- rednega in vestnega vzdrževanja.

Glede na izredno število spremenljivk in s ciljem po čim bolj verodostojnih podatkih in posledično zanesljivih rezultatih smo upoštevali sledeče metodološke predpostavke in robne pogoje:

- izbrana je ravna streha površine cca. 500 m² (dimenzije strehe cca. 23 m x 23 m),
 - stavba je prostornine cca. 5.000 m³,
 - ovoj stavbe je izoliran in ima posledično stene, tla in ventilacijske izgube na nivoju zagotavljanja trenutno veljavnih predpisov,
 - objekt se nahaja v III. klimatski coni, v Ljubljani s temperaturnim primanjkljajem (3300 K dan) in ogrevalno sezono 265 dni,
 - privzeta je diskontna mera 3 %,
-

- vrednost toplotne prevodnosti izolacijskih materialov je predpostavljena kot 0,038 W/(mK), kar je do 15 % slabša vrednost, kot jo navajajo mnogi proizvajalci. S tem smo želeli doseči realne razmere v naravi, proti razmeram v idealnih ali laboratorijskih pogojih,
 - vse cene že vsebujejo davek na dodano vrednost (DDV),
 - sedanja cena energije je predpostavljena v višini 0,08 €/kWh, cena energije že vključuje izkoristek kurišča in izgube ob prenosu energije,
 - ceno energije smo predpostavili kot konstantno, s tem, da smo analizirali vplive pri povišanih cenah energije, in sicer poleg trenutne cene energije 0,08 €/kWh, tudi cene 0,10, 0,12, 0,15, 0,20, 0,25 in 0,30 €/kWh),
 - za ekspanzirani polistiren (EPS) smo izbrali izhodiščno ceno 80,00 €/m³ in za ekstrudirani polistiren (XPS) 150,00 €/m³.
 - vse konstrukcijske sklope ravnih streh (od KS1 do KS5, slike na straneh od 78 do 80) smo oblikovali tako, da vsi dosežejo predvideno življenjsko dobo 60 let z dvakratnim vmesnim popravilom po 20. letu in po 40. letu uporabe ravne strehe,
 - iste sisteme ravnih streh kot v osnovnem primeru ko predpostavimo življenjsko dobo 60 let, smo vrednotili tudi za življenjsko dobo dvajsetih in štiridesetih let,
 - pri ocenjevanju ekonomične in optimalne debeline konstrukcijskih sklopov ravnih streh smo kot najmerodajnejši konstrukcijski sklop predpostavili toplo ravno streho z zaščito pranega prodca (KS2, Slika 8 na strani 79),
 - kombinirana oziroma duo ravna streha (KS4, Slika 10 na strani 80) je sestavljena iz ½ debeline toplotne izolacije v klasični, to je topli strehi (EPS) in ½ debeline toplotne izolacije v slojih obrnjene strehe (XPS);
 - računamo toplotne izgube, stroške ogrevanja, investicij in neto sedanje vrednosti za kvadratni meter (m²) ravne strehe s tem, da so vplivi cene drugih elementov, kot so obrobe, odtočniki in zaključki, upoštevane pri ceni na enoto površine ravne strehe,
 - iz podatkov o lokaciji objekta (Ljubljana, temperaturni primanjkljaj 3300 K dan, projekta temperatura –13 °C, ogrevalna sezona 265 dni) in iz karakteristik konstrukcijskega sklopa smo izračunali izgube energije na enoto površine (m²). Stroški teh izgub v kurilni sezoni, brez stroškov ogrevanja sanitarne vode in stroškov ohlajevanja ali klimatizacij, so nam koristili pri preračunavanju konstrukcijskih sklopov,
-

- debelino toplotne izolacije smo analizirali od 5 cm do 50 cm, s korakom po 5cm, pri določanju minimalnih debelin toplotnih izolacij smo zaradi doseganja večje natančnosti uporabljali korak 1 cm,
- predpostavili smo, da konstrukcijski sklop po koncu življenjske dobe, v našem primeru 60 let, nima nobene tržne vrednosti. V kolikor bi predvidevali znatno krajšo življenjsko dobo, bi morali, da bi se izognili napaki, upoštevati preostanek vrednosti, ki predstavlja potencialno tržno ceno konstrukcijskega sklopa ob koncu življenjske dobe,
- stroške vsakoletnih dveh periodičnih pregledov ravne strehe in odpravo majhnih pomanjkljivosti smo ocenili v višini 0,30 €/m².

Z zgoraj omenjenimi predpostavkami smo želeli doseči čim bolj verodostojne podatke, zajeti vse možne vplive v čim bolj realni intenziteti, ne glede na to kako bi ti kazatelji kasneje vplivali na rezultate in naša pričakovanja.

6.1.3 Pomožni izračuni v tabelarični in grafični obliki

Preglednica 10 in preglednice v Prilogi C, ki smo jih izračunali s pomočjo enačb neto sedanjih vrednosti (Enačba 5.3 in Enačba 5.4 v poglavju 5.1.14 na strani 72), so nam služile kot podloga za vse izračune in izdelave grafikonov. Iz njih so, za posamezne konstrukcijske sklope ravnih streh, razvidni investicijski stroški, letni stroški toplotnih izgub, vzdrževanj in preplastitev določenih sistemov ravnih streh, kot tudi ti omenjeni stroški prevedeni v neto sedanjo vrednost (NPV). S tem ko transponiramo bodoče stroške na sedanje vrednosti, torej v neto sedanjo vrednost (NPV), nam je omogočena realna primerjava različnih konstrukcijskih sklopov ravnih streh, različnih debelin toplotne izolacije (in s tem tudi različno velikih toplotnih izgub), različnih cen toplotnih izolacij, različnih cen energije, različnih pričakovanih življenjskih dob in tudi različnih vzdrževalnih ter obnovitvenih stroškov.

Po direktnih stroških investicije in tudi po neto sedanjih skupnih stroških (Preglednica 10) je konstrukcijski sklop tople ravne strehe z zaščitnim bitumenskim trakom (KS1, Slika 7 na strani 78) najcenejši. Najdražji pa konstrukcijski sklop ozelenjene ravne strehe (KS5, Slika 11 na strani 80). Razmerje velja za debelino toplotne izolacije 15 cm,

kar se lahko spremeni (v poglavju 6.2.2 na strani 88 smo to tudi ovrednotili) ob drugih debelinah izolacije ali drugih pogojih (cena energije, nivo diskontne stopnje, dolžina življenjske dobe in drugo).

Preglednica 10: Izračun ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh

Table 10: Calculation of economical assessment costs in life cycle

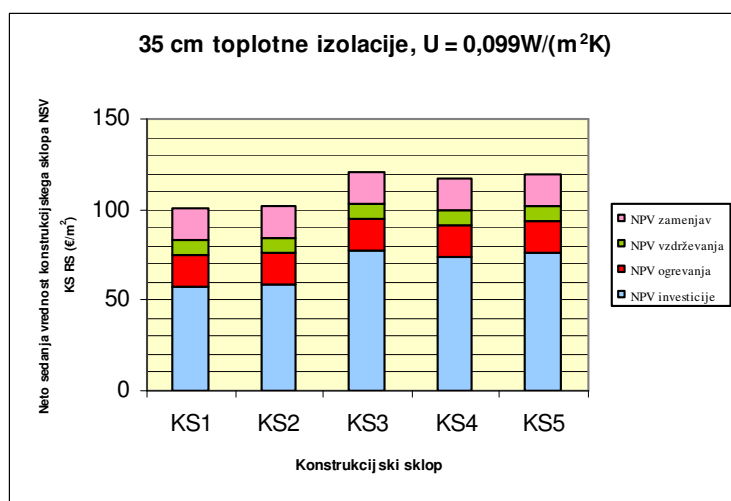
Toplotnoizolativna ravna streha, 15cm toplotne izolacije, $U = 0.219W/(m^2K)$					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (KS1)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(KS2)	obrnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(KS3)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(KS4)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	14,00	14,00	0,00	8,00	14,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	24,50	13,25	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranelega prodca, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrobe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	42,00	43,00	46,50	51,25	60,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	42,00	43,00	46,50	51,25	60,50
ogrevanje: toplotne izgube	38,40	38,40	38,40	38,40	38,40
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	105,91	106,91	110,41	115,16	124,41

Preglednica 11 za različne konstrukcijske sklope ravnih streh, prikazuje vse stroške (investicije, toplotnih izgub, vzdrževanja in zamenjav) izključno v obliki neto sedanje vrednosti (NPV). Ti izračuni so hkrati prikazani za različne debeline toplotnih izolacij. Iz teh podatkov lahko določimo minimalno vrednost skupnih neto sedanjih stroškov, ki določujejo ekonomično debelino toplotne izolacije za določen konstrukcijski sklop ravne strehe. Za potrebe določevanja ekonomičnih debelin toplotnih izolacij smo, s ciljem izboljšanja natančnosti, korak spremembe v debelini toplotne izolacije znižali iz 5 cm na 1 cm (Priloga C).

Preglednica 11: Izračun ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh – prikaz za različne debeline toplotne izolacije
Table 11: Calculation of economical assessment costs in life cycle – different thermal insulation thicknesses are presented

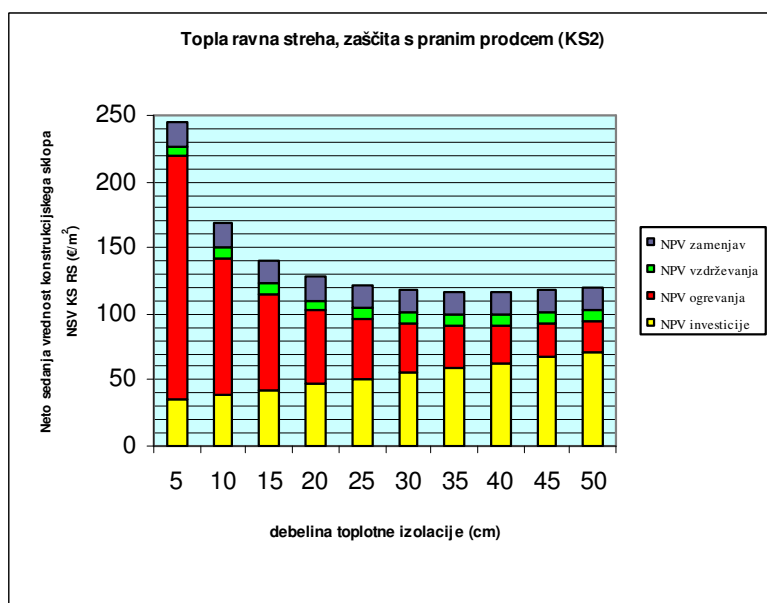
vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	34,00	38,00	42,00	46,00	50,00	54,00	58,00	62,00	66,00	70,00
NPV ogrevanja	98,02	55,24	38,40	29,46	23,85	19,99	17,36	15,26	13,68	12,27
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	157,53	118,74	105,91	100,97	99,36	99,50	100,87	102,76	105,18	107,78
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	35	39	43	47	51	55	59	63	67	71
NPV ogrevanja	98	55	38	29	24	20	17	15	14	12
NPV vzdrževanja	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
NPV zamenjav	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
NPV skupaj	158,53	119,74	106,91	101,97	100,36	100,50	101,87	103,76	106,18	108,78
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	32,50	40,00	47,50	55,00	62,50	70,00	77,50	85,00	92,50	100,00
NPV ogrevanja	98,02	55,24	38,40	29,46	23,85	19,99	17,36	15,26	13,68	12,27
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	156,03	120,74	111,41	109,97	111,86	115,50	120,37	125,76	131,68	137,78
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	39,75	45,50	51,25	57,00	62,75	68,50	74,25	80,00	85,75	91,50
NPV ogrevanja	98,02	55,24	38,40	29,46	23,85	19,99	17,36	15,26	13,68	12,27
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	163,28	126,24	115,16	111,97	112,11	114,00	117,12	120,76	124,93	129,28
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	52,50	56,50	60,50	64,50	68,50	72,50	76,50	80,50	84,50	88,50
NPV ogrevanja	98,02	55,24	38,40	29,46	23,85	19,99	17,36	15,26	13,68	12,27
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	176,03	137,24	124,41	119,47	117,86	118,00	119,37	121,26	123,68	126,28

Grafikon 12 za določeno debelino toplotne izolacije in za različne konstrukcijske sklope ravnih streh prikazuje neto sedanje vrednosti (NPV) za stroške, ki nastajajo v življenjski dobi (osnovne investicije, toplotne izgube, vzdrževanje in preplastitev ravne strehe). Iz grafikona so razvidna razmerja NPV vseh stroškov v življenjski dobi posameznega konstrukcijskega sklopa ravne strehe (primeri za druge debeline toplotnih izolacij so prikazani v Prilogi D).



Grafikon 12: Neto sedanja vrednost stroškov za različne konstrukcijske sklope
Graph 12: Net present value of different flat roof constructional complexes

Celotna neto sedanja vrednost (NPV) vseh stroškov (investicije, toplotnih izgub, vzdrževanja in preplastitev) je predstavljena za različne debeline toplotnih izolacij v grafični obliki (Grafikon 13 in Priloga D). Iz prikazanih grafikonov je razvidno padanje neto sedanjih vrednosti (NPV) vseh stroškov z večanjem debeline toplotne izolacije, vendar zniževanje ni konstantno, ampak se asimptotično približuje končni vrednosti.

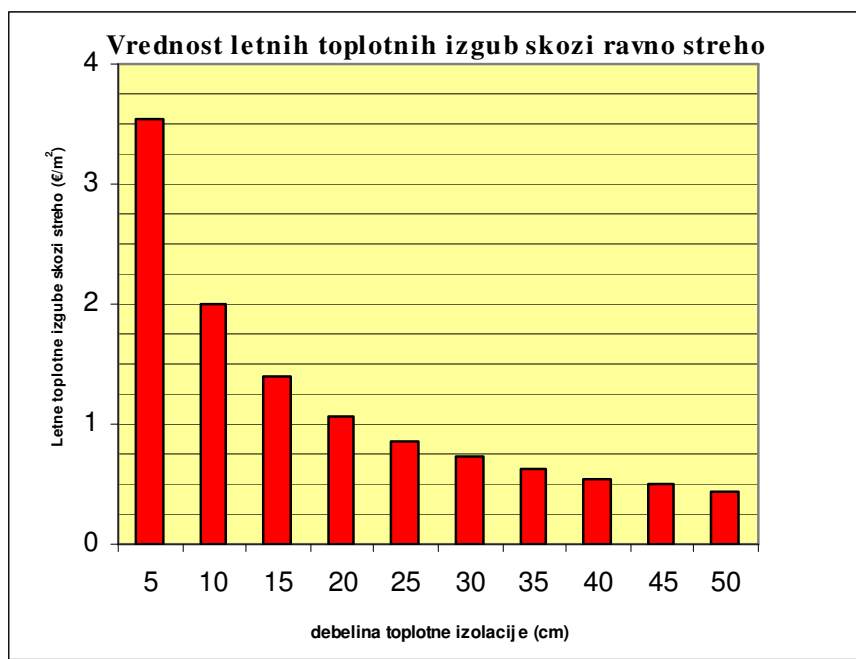


Grafikon 13: Neto sedanja vrednost stroškov za različne debeline toplotnih izolacij
Graph 13: Net present value of different thermal insulation thicknesses

6.2 Rezultati in njihovo vrednotenje

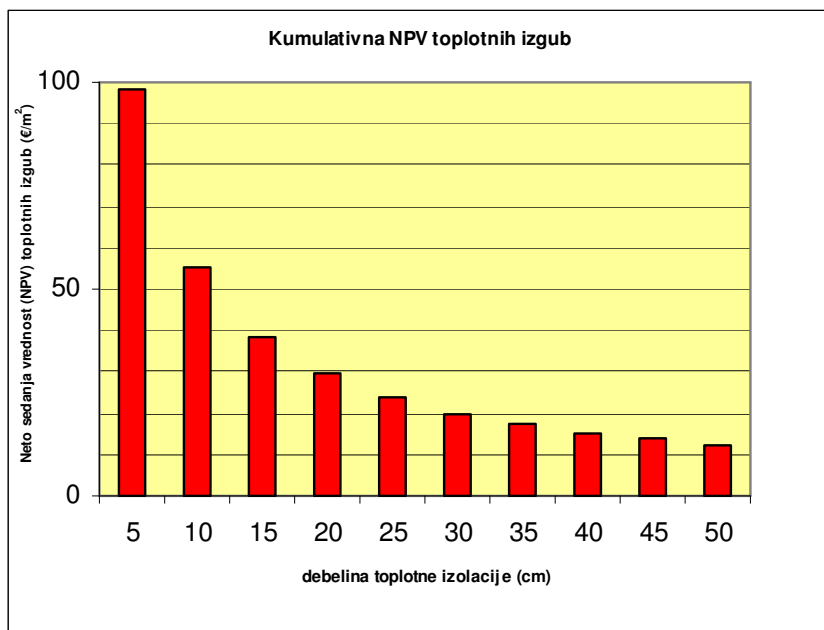
6.2.1 Toplotne izgube na enoto površine ravne strehe

Letni stroški toplotnih izgub v eni kurilni sezoni na enoto površine ravne strehe (Grafikon 14) so od 3,54 €/m² pri 5 cm debeli toplotni izolaciji in z debelino padajo na samo 0,44 €/m² pri 50 cm debelem sloju toplotne izolacije. Kumulativne NPV toplotnih izgub (oziroma NPV ogrevanja) v 60-letni življenjski dobi (Grafikon 15) so od 98,02 €/m² pri 5 cm izolaciji in znašajo samo 12,27 €/m² pri 50 cm debeli toplotni izolaciji ravne strehe. Iz grafikonov (Grafikon 13, Grafikon 14 in Grafikon 15) opazimo, da se NPV stroškov toplotnih izgub znižujejo s povečevanjem debeline toplotne izolacije, vendar je dodatno zniževanje ob hkratnem povečevanju debeline toplotne izolacije vse bolj zanemarljivo. Iz grafikonov je tudi jasno razvidno asimptotično zniževanje stroškov ob povečevanju debeline toplotne izolacije.



Grafikon 14: Letne toplotne izgube na enoto površine ravnih streh za različne debeline toplotnih izolacij

Graph 14: Yearly thermal losses through flat roofs in relation to different thermal insulation thicknesses



Grafikon 15: Kumulativna NPV toplotnih izgub na enoto površine ravnih streh za različne debeline toplotnih izolacij v življenjski dobi

Graph 15: Cumulative NPV of thermal losses through flat roofs in relation to different thermal insulation thickness for the entire life cycle

Lahko sklepamo, da je pri sedanjih cenah energije in cenah toplotnih izolacij z ekonomskega vidika še smotrno vgrajevati 35 cm debele sloje toplotnih izolacij v sisteme ravnih streh. Dokaz za to so tudi primeri iz prakse, ko se v nizkoenergetske stavbe vgrajujejo debeline toplotnih izolacij enakega velikostnega reda, to je okrog 35 cm. Za te optimalne debeline toplotnih izolacij se zavestno odločamo zaradi zavedanja problematike varovanja okolja in zmanjševanja porabe neobnovljivih virov, kot tudi nevarnosti dviga cen energije in drugih vplivov v življenjski dobi konstrukcijskih sklopov.

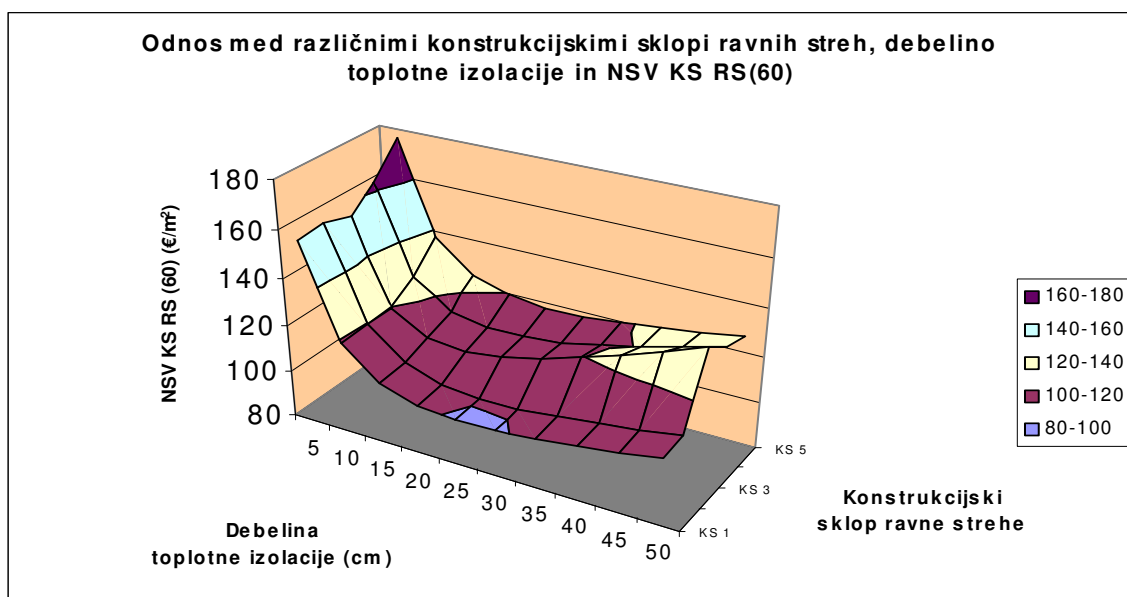
6.2.2 Vpliv izbire konstrukcijskega sklopa ravne strehe

Tabelarni izpisi (Priloga C) in grafikon (Priloga D in Grafikon 16) povedo, da je za toplotne izolacije do debeline 30 cm konstrukcijski sklop ozelenjene strehe (KS5) z vidika NSV KS RS (60) najdražji. Pri še večjih debelinah toplotne izolacije pa je po istem kriteriju dražji sistem obrnjene strehe (KS3) in to zaradi dražje investicije v toplotno izolacijo, ki je odporna na izpostavitve vlage. Zaključimo lahko, da ima pri

velikih debelinah cena toplotne izolacije velik vpliv na celotno ceno konstrukcijskega sklopa ravne strehe.

Ker so konstrukcijski sklopi v našem primeru oblikovani tako, da imajo življenjsko dobo čim bolj enako, imata topli ravni strehi, tako z zaščito s škrljevim lomljencem (KS1), kot tudi s posipom pranege prodca (KS2), približno enako NSV KS RS (60), kar pomeni, da na dolgi rok ne prihranimo ničesar, če se odločimo za, v času investicije, cenovno ugodnejšo ravno streho brez kakovostne zaščite pred temperaturnimi šoki, ki jo pa konstrukcijski sklop debeloslojnega posutja pranege prodca nudi.

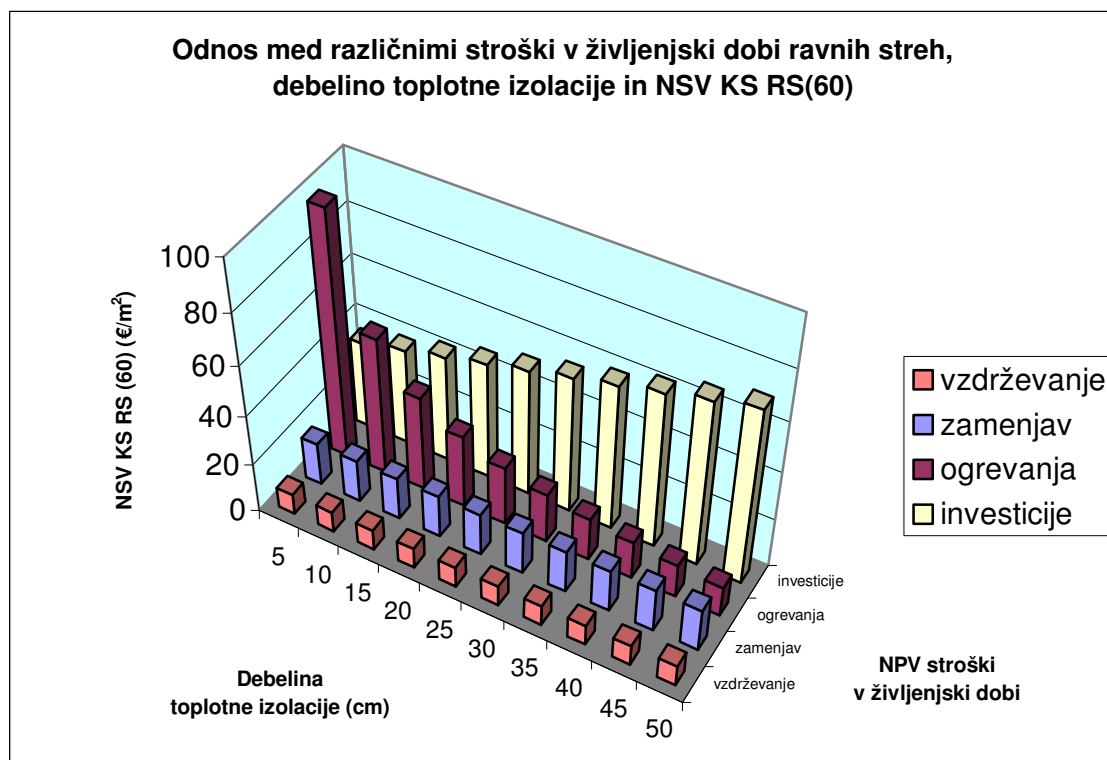
V kolikor ne bi predpostavili enakih življenjskih dob vseh konstrukcijskih sklopov, bi bila najcenejša investicija v izvedbo ravne strehe s škrljevim lomljencem (KS1), ki pa zaradi veliko višjih stroškov vzdrževanja ne bi pomenila tudi najbolj racionalne rešitve.



Grafikon 16: Odnos med različnimi konstrukcijskimi sklopi ravnih streh, debelino toplotne izolacije in NSV KS RS(60)

Graph 16: Relation between different flat roof constructional complexes, thickness of thermal insulation and NPV of flat roof

Grafikon 17 pokaže rast stroškov investicije ob vse večjem debeljenju izolacije v konstrukcijskem sklopu ravne strehe, hkrati se stroški ogrevanja v življenjski dobi zmanjšujejo (nad 35 cm so zmanjšanja vse bolj zanemarljiva). NPV zamenjav in NPV vzdrževanja sta po predpostavki konstantni in nista odvisni od debeline toplotne izolacije.



**Grafikon 17: Odnos med različnimi stroški v življenjski dobi ravnih streh,
debelino toplotne izolacije in NSV KS RS(60)**

Graph 17: Relation between different costs in service life of flat roofs, thickness of thermal insulation and NPV of flat roof

6.2.3 Vpliv debeline toplotne izolacije ali vpliv dodatnega vložka v toplotno izolacijo

Iz tabelarnih izpisov (Priloga C) in grafikonov (Priloga D in Grafikon 16) ugotovimo, da je minimalna neto sedanja vrednost za različne konstrukcijske sklope ravnih streh NSV KS RS (60) in pri sedanjih cenah energije, dosežena pri debelini toplotne izolacije 26 cm. Vzrok temu, da se NPV stalno ne znižuje z debeljenjem toplotne izolacije, so stroški dodatne debeline toplotne izolacije. Posledično zaradi tega investicijska vrednost ravne strehe narašča bolj strmo, kot se znižujejo NPV stroškov zaradi ogrevanja. Če želimo varčevati z energijo in okoljem, moramo za te namene povečati debelino toplotne izolacije na optimalno debelino in tako zavestno, zaradi ekološke osveščenosti, pristajati tudi na višjo NSV KS.

6.2.4 Vpliv cene energije

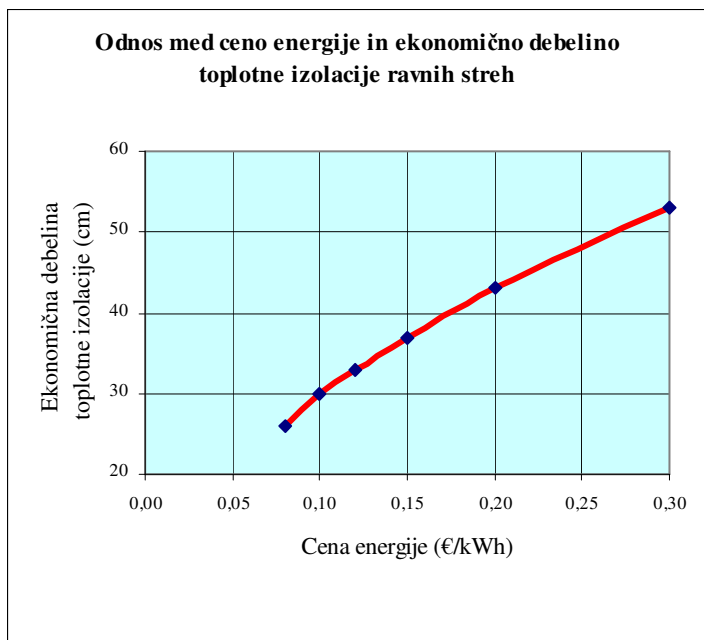
Že več držav Evropske unije ima dvakrat višjo ceno električne energije kot pri nas. Torej več kot 0,20 €/kWh). V Sloveniji je trenutna cena električne energije približno 19 % pod povprečjem, ki velja v Evropski uniji za vse njene članice.

Ob cenah električne energije 0,20 €/kWh je dosežena minimalna NSV KS RS (60) pri debelinah toplotne izolacije za analizirane primere konstrukcijskih sklopov (od KS1 do KS5) kar 43 cm, kar je precej več (+65 %) kot je minimalna NSV KS, ki znaša 26 cm po pri nas trenutni ceni energije (Grafikon 18). Ob upoštevanju cene energije 0,20 €/kWh pokaže vrednotenje stroškov v življenjski dobi ravne strehe, ki zadostujejo trenutno veljavnim predpisom (približno 15cm debela toplotna izolacija), da še vedno potrebujemo za stroške ogrevanja v šestdesetletni življenjski dobi celo 69,1 % od celotne NPV. Investicijski stroški v sloje ravne strehe predstavljajo v tem primeru samo 30,9 % celotnih NSV KS RS (60). Pri ceni energije 0,30 €/kWh predstavljajo investicijski stroški samo 23,0 % celotnih NPV stroškov, ostalih 77,0 % so stroški uporabe v življenjski dobi stavbe.

Zanimiva je ugotovitev ob upoštevanju cene energije 0,20 €/kWh), da pri majhnih debelinah toplotnih izolacij, na primer 5cm, NPV stroški ogrevanja v predpostavljeni življenjski dobi 60 let celo presegajo 4/5 celotnih stroškov (80,2 %), oziroma NPV ogrevanja, vzdrževanja in obnov (preplastitev strehe), celo 88,5 % vseh stroškov. V tem primeru predstavlja NPV investicije komaj 11,5 % (ali okrog 1/10) celotne NSV KS RS (60). Še bolj drastično je pri ceni energije 0,30 €/kWh), ko stroški začetne investicije v konstrukcijski sklop ravne strehe predstavljajo samo 8,2 % ali okrog 1/12 celotnih stroškov v življenjski dobi.

Grafikon 18 prikazuje odnos med ceno energije in ekonomično debelino toplotnih izolacij ravnih streh. Pri 50 % povečanju sedanje cene energije, bi se ekonomična debelina povečala za 26,9 % (koeficient elastičnosti znaša 0,538), pri 100 % zvišanju energije, bi ekonomična debelina bila za 48,4 % večja (koeficient elastičnosti je 0,484) in pri 200 % porasti trenutne cene energije, bi bila ekonomična debelina za 75,5 % večja (koeficient elastičnosti je tako 0,378). Ker se koeficient elastičnosti z višanjem cene energije zmanjšuje, je tudi vpliv spremembe v ceni energije na ekonomično debelino toplotnih izolacij vse manjši.

Izračune v prilogi C, ki predstavljajo razmerje med ceno energije in ekonomično debelino toplotnih izolacij v sistemih ravnih streh, lahko izrazimo v obliki grafikona:

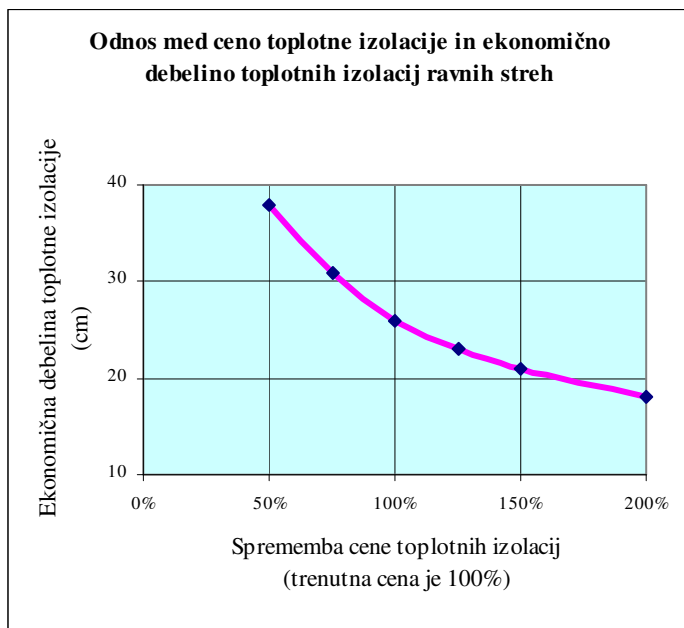


Grafikon 18: Odnos med ceno energije in ekonomično debelino toplotnih izolacij ravnih streh

Graph 18: Relation between energy price and economical thickness of flat roof thermal insulation

6.2.5 Vpliv cene toplotnih izolacij

Cena toplotnih izolacij prav tako vpliva na NSV KS RS (60). Tako pri znižanju cen toplotnih izolacij postajajo ekonomične debeline toplotnih izolacij večje. V primeru 50 % znižanja trenutnih cen toplotnih izolacij, se ekonomična debelina poveča iz 26 cm na 38 cm, torej za 46,2 %. In obratno, pri zviševanju cen toplotnih izolacij se ekonomične debeline znižujejo; pri 50 % povečanju cen toplotnih izolacij se zniža ekonomična debelina iz 26 cm na 21 cm (padec za 19,2 %). Samo za ilustracijo: celo pri eventualnem 100 % dvigu cen toplotnih izolacij niso ekonomične debeline toplotnih izolacij manjše kot 18 cm.



Grafikon 19: Odnos med ceno toplotne izolacije in ekonomično debelino izolacije ravnih streh

Graph 19: Relation between thermal insulation price and economical thickness of flat roofs

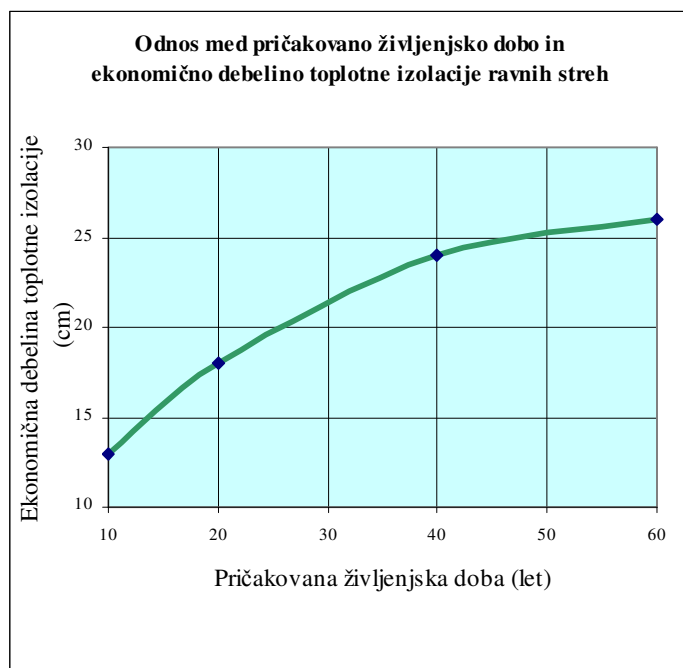
Iz grafikona (Grafikon 19) vidimo nelinearno razmerje med ceno toplotnih izolacij in ekonomično debelino izolacij v sistemih ravnih streh. Če cene toplotnih izolacij padejo za 25 %, se ekonomična debelina izolacij poveča za 19,2 % (koeficient elastičnosti je tako negativen: $-0,769$), če pa cena toplotnih izolacij naraste za 25 %, se ekonomična debelina zniža za samo 11,5 % (koeficient elastičnosti je $-0,462$).

Isti grafikon (Grafikon 19) pove tudi, da znižanje cene toplotnih izolacij privede do višje ekonomične debeline izolacij, ta odnos je skoraj linearen, medtem ko velike podražitve ne vplivajo tako intenzivno na spremembo ekonomične debeline toplotnih izolacij (koeficient elastičnosti je v absolutni vrednosti manjši).

6.2.6 Vpliv pričakovane življenjske dobe

V kolikor gradimo za krajši čas so bolj ekonomične manjše debeline toplotno izolacijskih slojev v konstrukcijskih sklopih. Pri ravnih strehah je kljub samo 20 letni pričakovani življenjski dobi še vedno najbolj ekonomična 18 cm in pri 10 letni, 13 cm

debela plast toplotne izolacije. Ker se bo v bodoče z gotovostjo povečevala cena energije, se bodo s tem povečevale tudi najbolj ekonomične debeline toplotnih izolacij in to kljub morebitnim kratkim življenjskim dobam stavb. Torej moramo v konstrukcijskih sklopih ravnih streh kot optimalne debeline jemati debelejšje sloje toplotnih izolacij.



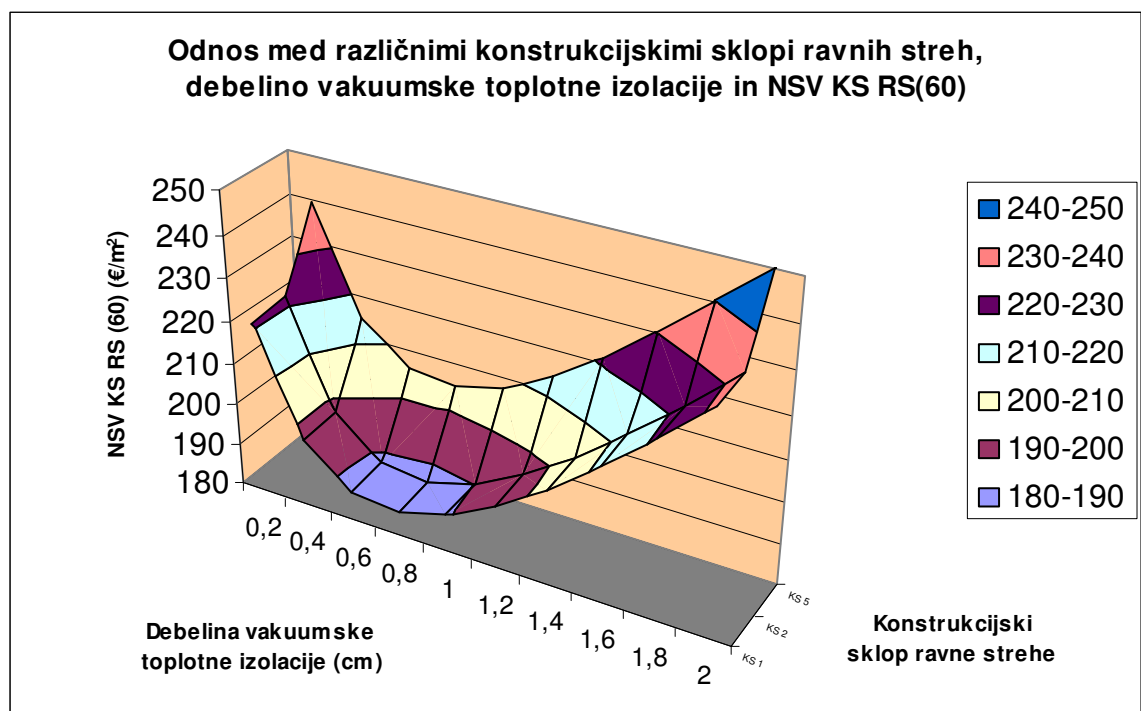
Grafikon 20: Odnos med pričakovano življenjsko dobo in ekonomično debelino izolacije ravnih streh

Graph 20: Relation between expected service life and economical thickness of flat roof thermal insulation

Ekonomične debeline toplotnih izolacij ravnih streh so odvisne od planirane življenjske dobe in v skladu z grafikonom (Grafikon 20) naraščajo z daljšo življenjsko dobo. Pri življenjski dobi 10 let znaša ekonomska debelina toplotnih izolacij 13 cm (koeficient elastičnosti je 0,600), pri 20-letni 18 cm in pri 40-letni življenjski dobi 24 cm. V primeru še daljših življenjskih dob, nad štirideset let, pa ekonomične debeline niso več tako odvisne sprememb in postanejo praktično neodvisne od življenjskih dob (koeficient elastičnosti je samo 0,231).

6.2.7 Ovrednotenje vpliva nove vakuumske toplotne izolacije

Na evropskem trgu se pojavljajo novi toplotnoizolacijski materiali, kot so na primer izdelki proizvajalca Va-Q-Tec iz Nemčije (www.Va-Q-Tec.com). Toplotna izolacija ima polnilo iz poroznih, vendar trdnih in odprtih celic ter obojestransko plast folije (plast aluminija nanesenega na folijo). Iz vsebine je izsesan zrak (zato vakuumska izolacija), laboratorijska vrednost toplotne prevodnosti je 0,0044 W/(mK), kar je 7,5-krat boljše, kot jo izkazujejo sedanji toplotnoizolacijski materiali (0,033 W/(mK)). Kakor v primeru običajnih toplotnoizolacijskih materialov smo tudi v tem primeru upoštevali, da bi zajeli čim bolj realne pogoje v naravi, ne pa idealne pogoje v laboratoriju, za približno 15 % slabšo vrednost, torej 0,005 W/(mK). V laboratoriju FRAGMAT IZOLIRKA smo izmerili na svežem vzorcu vrednost 0,00481 W/(mK).



Grafikon 21: Odnos med različnimi konstrukcijskimi sklopi ravnih streh, debelino vakuumske toplotne izolacije in NSV KS RS (60)

Graph 21: Relation between different flat roof constructional complexes, vacuum thermal insulation thickness and NPV of flat roofs

Iz grafikona (Grafikon 21) razberemo, da je vakuumska izolacija še vedno izredno draga, saj najnižja NSV KS RS (60), torej ekonomična debelina, nastopi že pri debelini 7 mm. Pri tej debelini je toplotna prehodnost $U = 0,464 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in toplotne izgube predstavljajo v šestdesetletni življenjski dobi celo 43,5 % vseh NPV. Celotna NSV KS

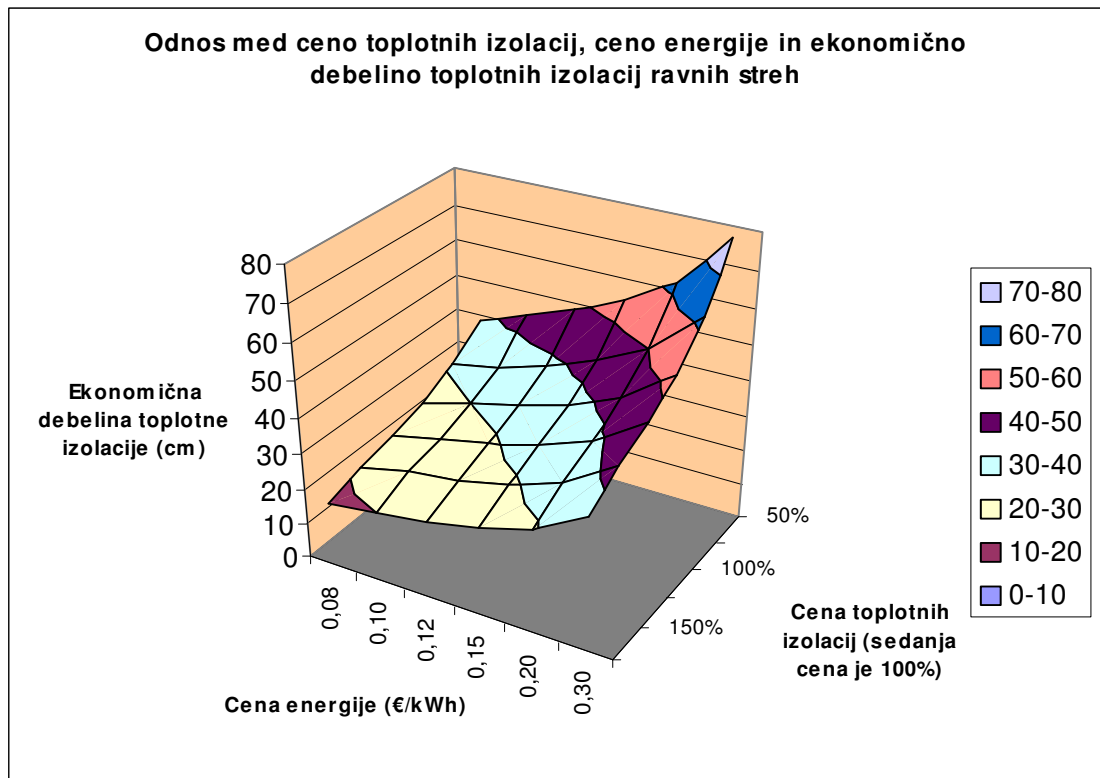
RS (60) znaša $186,81 \text{ €/m}^2$, kar je za dobrih 86 % več, kot znašajo taisti stroški ravnih streh iz običajnih toplotnoizolacijskih materialov ($100,12 \text{ €/m}^2$). Pri ravni strehi iz običajnih materialov je tudi delež stroškov toplotnih izgub razpolovljen, to je le 23 % vseh (NPV) stroškov. Toplotna prehodnost pri ekonomični debelini je celo 3,5-krat manjša in znaša $0.132 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Ker v proizvodnji ni 7 mm debele vakuumske izolacijske plošče, moramo privzeti prvo večjo debelino, ki znaša 20 mm. Pri tej debelini je vrednost toplotne prehodnosti $U = 0,210 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in toplotne izgube predstavljajo v šestdesetletni življenjski dobi precej sprejemljivejši delež 15,8 %. Celotna NSV KS RS (60) znaša kar $233,37 \text{ €/m}^2$, kar celo za 133 % več kot znašajo ti stroški ob uporabi običajnih toplotnih izolacij.

Z izračuni smo ugotovili, da bi vakuumska izolacija smela imeti ceno na nivoju 610 €/m^3 , da bi bila z upoštevanjem svoje izolacijske sposobnosti enakovredna običajnim izolacijam, kot je na primer ekspanzirani polistiren (EPS). Žal je trenutna cena kar 11,5-krat višja, kar tudi vodi k tako neugodnim izračunom NSV KS RS (60). Dokler bodo takšna razmerja cen, bodo aplikacije v gradbeništvu omejene na konstrukcijske sklope, kadar ni drugih rešitev, predvsem zaradi debeline slojev toplotnih izolacij v primerih raznih adaptacij in podobno.

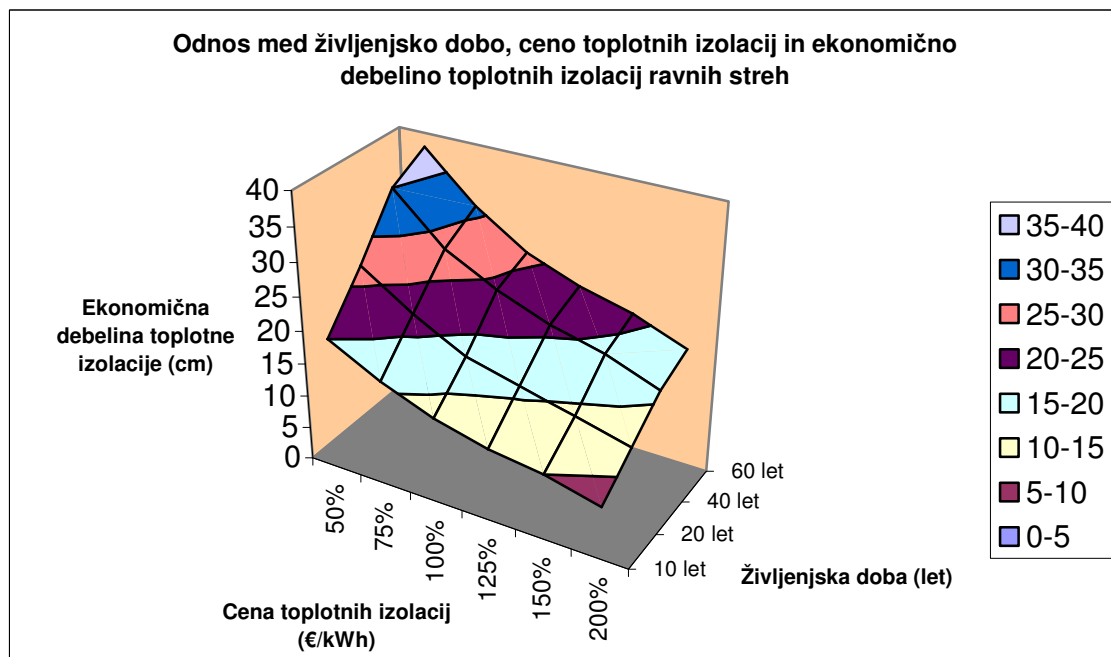
6.3 Sklepi vrednotenja stroškov konstrukcijskih sklopov ravnih streh in kritična ocena

Tudi sprememba diskontne stopnje vpliva na NPV. S povišanjem diskontne stopnje postanejo bodoči stroški nominalno nižje sedanje vrednosti in posledično so ekonomične debeline toplotne izolacije z vidika najnižje NSV KS RS (60) manjše. Vendar tudi pri diskontni stopnji celo 10 % ni v nobenem analiziranem primeru dosežen minimum NSV KS RS (60) pri debelinah toplotne izolacije manj kot 15 cm. Z drugimi besedami: četudi so makro ekonomski vplivi še tako neugodni (visoke obrestne mere in drago najemanje kreditov), ni nikoli ekonomična debelina toplotne izolacije manjša kot 15 cm. Zavedamo se, da moramo za diskontne stopnje nepremičnin jemati bolj konzervativne, to je manjše vrednosti. V našem primeru smo upoštevali in privzeli konstantno vrednost diskontne stopnje v višini 3 %.



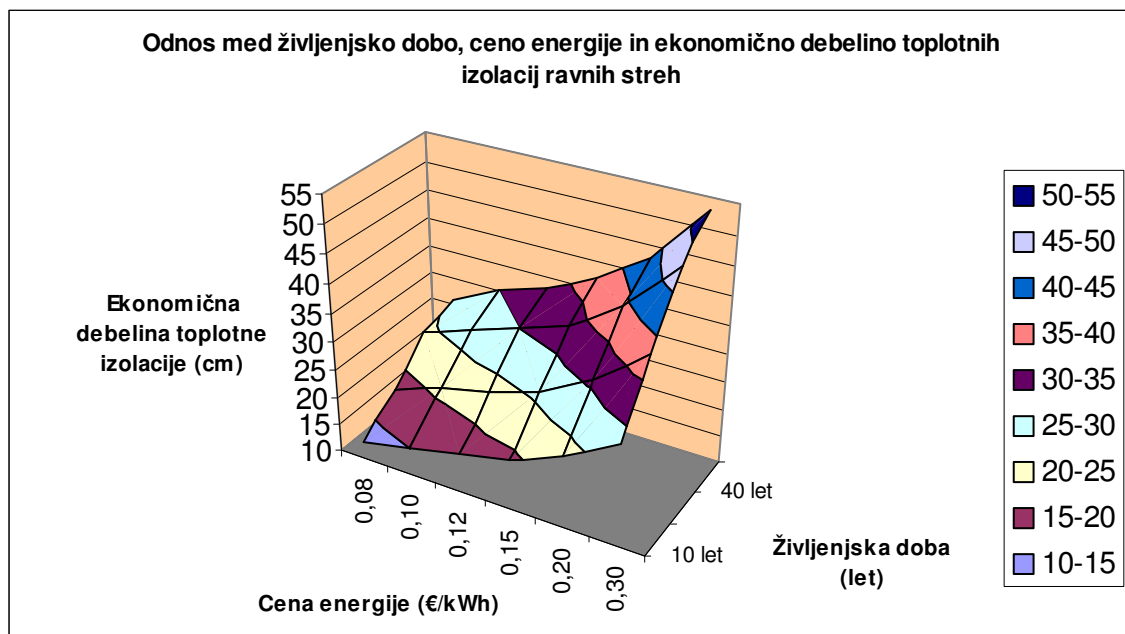
Grafikon 22: Odnos med ceno toplotnih izolacij, ceno energije in ekonomično debelino toplotnih izolacij ravnih streh
Graph 22: Relation between thermal insulation price, energy price and economical thickness of flat roof thermal insulation

Grafikon 22 pove, da je ekonomična debelina toplotnih izolacij najmanjša v primeru poceni energije in ob hkratni visoki ceni toplotnih izolacij. In nasprotno, ob dragi energiji in nizkih cenah toplotnih izolacij so ekonomične največje debeline toplotno izolacijskih slojev v ravnih strehah. Grafikon 23 prikazuje odnos med ceno toplotnih izolacij in pričakovano življenjsko dobo. V kolikor je življenjska doba kratka in cena toplotnih izolacij visoka, so ekonomične debeline toplotnih izolacij nižje. V primeru dolgih življenjskih dob in nizkih cen toplotnih izolacij se splača v konstrukcijske sisteme vgraditi debelejšše sloje toplotnih izolacij. Razmerje med ceno energije in pričakovano življenjsko dobo prikazuje (Grafikon 24). Majhne ekonomične debeline toplotnih izolacij so dosežene pri nizkih cenah energije in kratkih pričakovanih življenjskih dobah, kar je diametralno primeru, ko so cene energije visoke in pričakovane življenjske dobe dolge, torej je v teh primerih smiselno vložiti več in vgraditi debelejšše sloje toplotnih izolacij.



Grafikon 23: Odnos med pričakovano življenjsko dobo, ceno toplotnih izolacij in ekonomično debelino toplotnih izolacij ravnih streh

Graph 23: Relation between expected service life, thermal insulation price and economical thickness of flat roof thermal insulation



Grafikon 24: Odnos med pričakovano življenjsko dobo, ceno energije in ekonomično debelino toplotnih izolacij ravnih streh

Graph 24: Relation between expected service life, energy price and economical thickness of flat roof thermal insulation

Ekonomična debelina toplotnih izolacij se izredno poveča, v kolikor naraste cena energije. Če se energija podraži za dvakrat, torej je 100 % višja, se ekonomična debelina toplotne izolacije z najnižjo NSV KS poveča približno 1,5-krat (koeficient elastičnosti je 0,484). Podobno se ekonomična debelina toplotnih izolacij poveča, če se znižajo cene toplotnih izolacij. Znižanje 50 % pomeni, da se ekonomična debelina toplotnih izolacij poveča za 46 % (koeficient elastičnosti je negativen in znaša $-0,923$).

Ob vrednotenju vseh teh primerov se moramo zavedati, da izračuni ekonomičnih debelin toplotnih izolacij veljajo za trenutne razmere. Ker pa gradimo za ne samo bližnjo, ampak celo daljno prihodnost, moramo upoštevati predvidena gibanja cen energije, cen toplotnih izolacij, pričakovanih življenjskih dob, trajnosti materialov, zanesljivosti vgradnje in podobno. Na ta način dobimo optimalne debeline toplotnih izolacij. V izračunih smo upoštevali le zimsko, to je ogrevalno sezono. Ob večjih debelinah toplotnih izolacij so zaradi zmanjšanja porabe energije ohlajevanja in ventiliranja tudi prihranki energije v poletnem času večji.

Že pri trenutnih cenah energije in trenutnih cenah toplotno izolacijskih materialov so z vidika NSV KS RS (60) ekonomične precej večje, približno dvakrat večje, debeline toplotnih izolacij v sistemih ravnih streh, kot jih predpisujejo trenutno veljavni predpisi (SIST EN 832 in SIST EN ISO 13790).

Upoštevati moramo, da je tudi bivalno udobje v primeru debelin toplotne izolacije pod 15 cm na nizkem nivoju, kar še posebej velja za ravne strehe. Površinske temperature notranjih površin prostorov so poleti previsoke in pozimi prenizke, kar povzroča pregrevanje ali podhlajevanje prostora in kar je še bolj pomembno – povzroča povečan radiacijski toplotni tok med človeškim telesom in obodnimi površinami ali obratno.

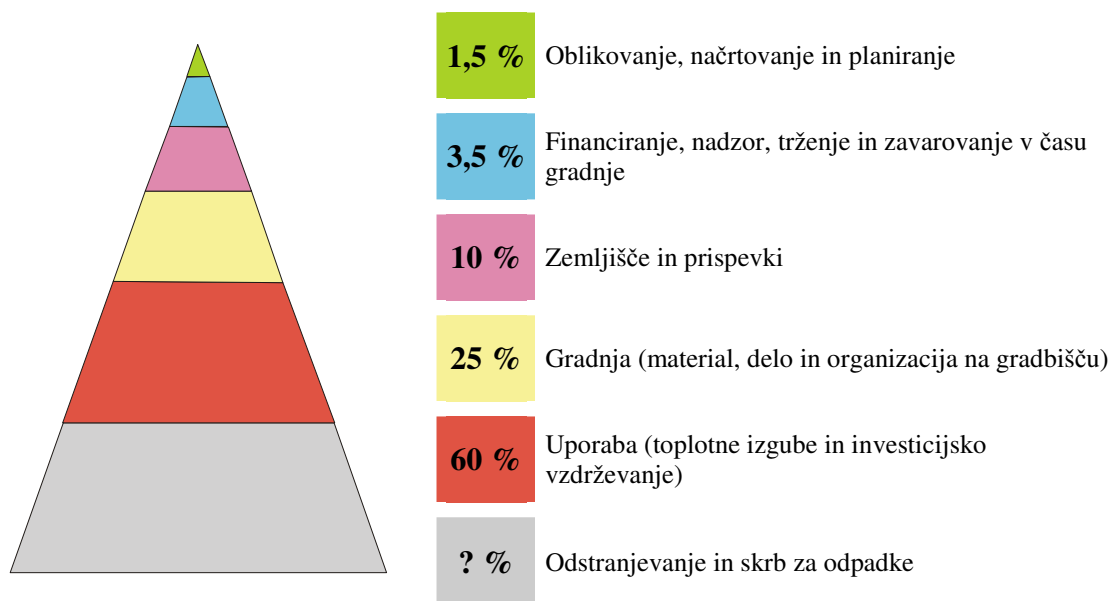
K zgoraj predstavljenim zaključkom pa moramo dodati še neprecenljivo in v monetarni enoti težko izmerljivo ceno varovanja okolja in zmanjševanja porabe obnovljivih virov energije. Ker je te vplive težko ovrednotiti in finančno oceniti, jih nismo zajeli v okviru naših študij. Rezultati takšnih pristopov bi bila tudi določitev optimalnih debelin toplotnih izolacij. Dokler so krediti za nepremičnine ugodni, je smiselno vgrajevati debelejša sloja toplotnih izolacij in odplačevati obroke kreditov ter se tako v bodoče izogniti še večjim stroškom ogrevanja, ohlajevanja in vzdrževanja.

'Pravilnik o projektni in tehnični dokumentaciji' (Ur. list RS 66/2004 z dne 18.06.2004) predpisuje v 44. členu tudi 'Projekt za obratovanje in vzdrževanje' kot sestavni del tehnične dokumentacije objektov. Vsebina projekta za obratovanje in vzdrževanje zajema: način vgradnje, uporabe, vzdrževanja, časovnih razmakov rednih pregledov, vzdrževalno dokumentacijo in druge zahteve. Nikjer pa ni omenjeno odstranjevanje ali upravljanje z odpadki po koncu življenjske dobe. Najverjetneje se smatra, da je slednje predmet bodoče tehnične dokumentacije gradbenega dovoljenja za rušenje objektov po koncu življenjske dobe. V primeru takšne zakonodaje, v procesu vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu (LCCA) stavb, različne odločitve za odstranjevanje, recikliranje in deponiranje odpadkov ne vplivajo na stroške niti na NPV investicij. Tako niso regulirani znatni stroški, ki so vezani na zaključek življenjske dobe stavb in se ti stroški brez cilja po optimizaciji in zmanjševanju prelagajo na prihodnost in s tem na bodoče generacije.

6.4 Piramida stroškov v življenjskem ciklusu stavb

Kot osnova za izračun deleža v piramidi stroškov v življenjskem ciklusu stavb so nam bile študije več projektov srednje velikih objektov (do uporabne površine 5.000 m² ali do prostornine 15.000 m³), stanovanjskih in poslovnih stavb v Ljubljani in njeni okolici. Predpostavljena je bila 60-letna življenjska doba. Objekti zadostujejo trenutno veljavnim predpisom o toplotni zaščiti stavb. Površine izsekov piramide (Slika 12) predstavljajo posamezne deleže stroškov v življenjski dobi stavbe.

Samo zgornji štirje izseki piramide (Slika 12) in dodana vrednost investitorja predstavljajo prodajno ceno objekta. Slednja je žal še vedno v večini primerov neodvisna od spodnjih dveh izsekov piramide. Z drugimi besedami; prodajna cena ni odvisna od stroškov uporabe objekta, kot so ogrevanje, ohlajevanje, klimatizacija, prisilno ventiliranje, investicijsko vzdrževanje in zamenjave, kot tudi ne od stroškov kasnejšega odstranjevanja objekta in skrbi za odpadke. Prav zato nas na tem področju čakajo še mnoge raziskave, praktična opazovanja, testiranja, ovrednotenja rezultatov, izdelava teoretičnih modelov in ustrezne baze podatkov, veliko dela v projektantski in operativni praksi ter na nivoju nadzora in regulative.



Slika 12: Piramida stroškov
Figure 12: Pyramid of costs

Stroške odstranjevanja objektov in gradbenih odpadkov lahko določimo, medtem ko za stroške, ki jih bo v bodoče povzročila skrb za odpadke in deponiranje nimamo natančnih podatkov. Tudi v razpoložljivi literaturi in rezultatih znanstvenih dognanj se podatki izredno razlikujejo med seboj. V večini primerov omogočajo samo medsebojno relativno primerjavo. Ko pa želimo izvesti primerjavo posameznih rešitev v absolutni vrednosti, pa sedaj razpoložljivi podatki ne vodijo k zanesljivim rešitvam.

Iz piramide (Slika 12) lahko razberemo tudi to, da je na vrhu pozicionirana stopnja oblikovanja, načrtovanja, planiranja in projektiranja, ki je udeležena z najmanjšim deležem – samo 1,5 % od celotnih stroškov v življenjskem ciklusu. Kljub temu, da so stroški planiranja od vseh faz najnižji, je možno ustvariti na tej stopnji največje prihranke. Za doseganje tega cilja pa moramo imeti dovolj informacij, poznati tehnologije, sprejeti regulativo na državnem in lokalnem nivoju, ter posedovati dovolj znanja, da bi lahko gradili človeku in okolju prijazno in hkrati čim bolj učinkovito.

V nalogi smo ugotovili, da je odstotek uporabe objekta v višini 60 % lahko ob neugodnih razmerah celo višji. Tako na primer stroški planiranja in izgradnje stavbe s 60-letno služno dobo ne presegajo petine celotnih stroškov - ali z drugimi besedami; vsaj 4/5 (oz. najmanj 80 %) vseh stroškov predstavljajo stroški vzdrževanja (ogrevanje,

ohlajevanje, klimatiziranje, prisilno ventiliranje in zamenjave dotrajanih elementov konstrukcijskega sklopa). Razni avtorji navajajo stroške do zaključka gradnje v višini 16 % celotne vrednosti in kar 84 % je t.i. 'skritih stroškov', to so stroški, ki izhajajo iz časa po gradnji, torej v življenjski dobi objekta [Ikaga 2005], Medtem, ko [Krigsvoll et al. 2005] omenja 80 % do 85 % kot višino stroškov vzdrževanja, v nasprotju s stroški projektiranja in gradnje, ki prispevata zgolj 10 % do 15 % k celotnim stroškom v stoletni življenjski dobi. Naše raziskave so potrdile zgoraj navedene trditve in pokazale v neugodnih razmerah, kot so majhne debeline toplotnih izolacij in visoke cene energije, celo višje deleže stroškov vzdrževanja. Ti stroški so bili v primeru cene energije 0,30 €/kWh) in pri debelinah toplotnih izolacij 5 cm celo 91,3 %. Slednje potrjuje, da bi morali že na stopnji oblikovanja veliko več pozornosti posvečati celotnemu življenjskemu ciklusu objektov in ne samo gradnji objekta.

7 POVZETEK

Gradbeništvo je v bruto nacionalnem dohodku udeleženo v praktično vseh državah z vsaj desetimi odstotki, hkrati pa je poraba materialov, surovin in energije ter količina odpadkov v celotni življenjski dobi objektov celo 40 % svetovnih količin. Nujno je, da so tehnološke, ekonomske in politične odločitve v industriji gradbenih materialov in gradbenih storitvah planirane, gradbena dejavnost vnaprej načrtovana, projektno vodena, objekti ekonomično zgrajeni in kasneje, v vseh stopnjah uporabe v smislu dobrega gospodarja, kakovostno vzdrževani. Večji poudarek moramo posvečati tudi varčevanju z neobnovljivimi viri energije, zmanjševanju porabe surovin in drugih resursov, varovanju okolja, planiranju recikliranja in skrbi ter upravljanju z odpadki, ki nastopajo kot rezultat zaključka življenjske dobe ali odstranitve.

Z energetskega stališča je napačno pristopanje na način: ker je funkcionalna zastarelost objekta relativno hitra, vgradimo v objekt takšne materiale in sisteme, ki brez težav opravljajo svojo nalogo do izteka funkcionalnosti objekta, ko objekt tudi porušimo. Takšno početje pripelje do življenjskih dob objektov le nekaj desetletij ali celo manj in do izrazite energetske potratnosti. Poleg tega so tudi kasneje, v kolikor želimo podaljšati življenjsko dobo objektov, nameravane prenove ali adaptacije finančno in tehnološko zelo zahtevne.

Z eksperimentalnima metodama vrednotenja stopnje dotrajanosti materialov, upogljivosti pri nizkih temperaturah in metodo spektralne analize ter ob teoretični podpori Arrheniusovega zakona pospešenega staranja, smo določili mehanizem staranja bitumenskih trakov na izpostavljenost višjim temperaturam. Tako lahko s pomočjo študij na teoretični in praktični ravni napovemo življenjsko dobo bitumenskih trakov in posredno tudi hidroizolacijskih sistemov.

Z meritvami staranja ob povišani temperaturi bitumenskih trakov kvalitete IZOTEM in Arrheniusovo enačbo smo dobili aktivacijsko energijo 58,4 kJ/mol. V skladu s standardom opravljamo staranje pri temperaturi +70,0 °C celih 24 tednov. V kolikor želimo pospešiti staranje v 12 tednih, moramo po dobljenih rezultatih raziskave, izdelek

izpostaviti temperaturi +82,0 °C ali za staranje v časovnem obdobju 9 tednov na +87,3 °C, da bi dosegli isti vpliv staranja bitumenskega traku, kakor ga predpisuje standard.

Minimalna debelina toplotne izolacije, ki je predpisana s standardi, pravilniki ali zakoni ni v nobenem obdobju bila osnova za najbolj ekonomično izbiro toplotne zaščite. Vedno je bilo na srednji in daljši rok bolj ekonomično graditi z debelejšimi sloji toplotne izolacije, kar še posebej velja za obdobja z visoko ceno energije, dolge življenjske dobe stavb in za zahteve po višjem toplotnem ugodju. V ta namen smo izdelali primerjalno teoretično analizo ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu različnih konstrukcijskih sklopov ravnih streh.

Ob sedanjih cenah energije in ceni toplotnih izolacij je minimalna neto sedanja vrednost v šestdesetletni življenjski dobi ravne strehe dosežena pri debelini toplotne izolacije 26 cm. Optimalna debelina toplotne izolacije je večja in zajema tudi predvidena gibanja cen energije, materialov, stroškov dela, upravljanja z odpadki in tudi vpliv zavestnega odločanja za varčevanje z energijo in varovanjem okolja. Tako je ob sedanjih cenah energije smiselno v konstrukcijske sloje ravnih streh vgrajevati vsaj 35 cm debele sloje toplotnih izolacij. Nad to debelino so dodatni prihranki vse bolj zanemarljivi.

Ob analizi vpliva višanja cen energije drastično naraščajo stroški toplotnih izgub skozi konstrukcijski sklop ravne strehe v predvideni življenjski dobi in hkrati postajajo deleži začetnih investicijskih stroškov proti celotnim stroškom vse manjši. Pri ceni energije 0,30 €/kWh) in 15 cm debeli toplotnoizolativni plasti, ki v večini primerov zadovoljuje našim predpisom, so začetni investicijski stroški samo 23 %, vse ostalo (77 %) so stroški ogrevanja, vzdrževanja in obnovitev v življenjski dobi stavbe.

Ekonomična debelina toplotnih izolacij je odvisna tudi od pričakovanih življenjskih dob konstrukcijskih sklopov in narašča z daljšanjem življenjske dobe, s tem da so spremembe vse manj zaznavne pri življenjskih dobah nad štirideset let.

Z izračuni smo ugotovili, da stroški uporabe objekta (toplotne izgube in investicijsko vzdrževanje) predstavljajo v življenjski dobi stavbe najmanj 60 % vseh stroškov. Istočasno lahko zaključimo, da so stroški faze oblikovanja, planiranja in projektiranja v teh taistih skupnih stroških, udeleženi z najmanjšim deležem, to je samo 1,5 % celotnih

stroškov v življenjskem ciklusu stavb. Paradoks je v tem, da v fazi oblikovanja, načrtovanja in planiranja lahko ustvarimo največje prihranke.

Posebej objekti visokega družbenega pomena, kamor nedvomno spadajo infrastrukturni objekti, avtocestno omrežje, pomembni javni objekti bi morali biti z vidika življenjske dobe, varčevanja z energijo in okoljske primernosti natančno analizirani.

Pravilnik o projektni in tehnični dokumentaciji (Ur. list RS 66/2004 z dne 18.06.2004), predpisuje v 44. členu tudi 'Projekt za obratovanje in vzdrževanje' kot sestavni del tehnične dokumentacije objektov. Vsebina projekta za obratovanje in vzdrževanje je predpisana, vendar nikjer ni omenjeno odstranjevanje ali upravljanje z odpadki po koncu življenjske dobe. Najverjetneje se smatra, da je slednje predmet bodoče tehnične dokumentacije gradbenega dovoljenja za obnovo ali rušenje objekta. Pomembna pomanjkljivost dosedanjih praks je, da v procesu vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu (LCCA) stavb, različne rešitve dimenzioniranja toplotnih izolacij, varčevanja z energijo, odločitve za odstranjevanje, recikliranje in deponiranje odpadkov ne vplivajo na stroške niti na NPV investicij. Tako niso regulirani, torej so zanemarjeni, znatni stroški, ki so vezani na samo življenjsko dobo in zaključek življenjske dobe stavb. Mnoge optimizacije in načini varčevanja se zanemarljivo, stroški prelagajo na poznejši čas in s tem na bodoče generacije. Prav zato morajo nujno postati analize življenjske dobe objektov in vrednotenja ekonomske učinkovitosti objektov sestavni del oblikovanja in projektiranja objektov.

8 SUMMARY

The building industry represents at least 10 % of the gross national income in practically all the countries and at the same time the raw material and energy use and the quantity of waste material in the entire life cycle of a building represents as much as 40 % of all global quantities. It is necessary that all technical, economical and political decisions in the construction industry and construction services be planned in advance. The buildings should be economically constructed and later qualitatively maintained in all phases of their use. More emphasis should be given to energy savings, renewable energy sources, minimizing the use of raw materials and other resources, environmental protection, planning of recycling and management of waste material.

The following approach is not correct from the energetics point of view: as buildings begin to obsolesce in terms of functionality relatively quickly, such materials and systems are implemented that are performing their function until the end of the building's functional life when the building is demolished. Such practice leads to the service life of buildings lasting only a few decades or even less and causes extreme dissipation of energy. Moreover, if service life needs to be prolonged later, renovation and adaptation is very difficult or even financially and technologically impossible.

Behaviour of the ageing process of bituminous sheets exposed to high temperatures was determined with the use of experimental methods, such as assessment of level materials ageing, determination of low temperature flexibility and spectral analysis method, supported theoretically by the Arrhenius law of accelerated ageing. With the use of theoretical and practical studies, we are able to predict the service life of bituminous sheets and indirectly that of waterproof insulation constructional complexes.

By measuring the ageing of IZOTEM bituminous sheets at increased temperature and using the Arrhenius equation, the activation energy of 58.4 kJ/mol was determined. According to standards, the ageing process is done at +70,0 °C over a period of 24 whole weeks. If we want to perform the ageing in 12 weeks, we should, according to the results of our research, raise the temperature to +82.0 °C or to +87.3 °C if we want to do

it in 9 weeks, in order to achieve the same impact of the ageing of bituminous sheets as that prescribed by the standards.

Minimal thickness of thermal insulation prescribed by standards and regulations was never the foundation for the most economical choice of thermal insulation. In the medium- and long-term, it was always more economical to use thicker thermal insulation, especially when the prices of energy were high, in order to achieve longer service life of buildings and satisfy the demands for a better heating quality. For this purpose, a comparative theoretical analysis of economic Life Cycle Cost Assessment of different flat roof constructional complexes was developed.

With present prices of energy and thermal insulation, the minimal Net Present Value (NPV) during the expected sixty years of flat roof's service life is obtained with 26 cm of thermal insulation. The optimal thermal insulation thickness is larger and also comprises the expected prices of energy and material, labour costs, waste management costs and the impact of conscious decisions on energy savings and environmental protection. With the current energy prices it is wise to use at least 35 cm of thermal insulation in flat roof constructional complexes. Savings are more and more negligible above this thickness.

The analysis of the impact of higher energy prices shows that the costs of energy losses through flat roof constructional complexes in the expected service life are drastically increasing and at the same time the initial investment costs are becoming less significant in comparison to total costs. At the energy price of 0.30 €/kWh and 15 cm thick thermal insulation, which satisfies our regulations in most cases, the initial investment costs only represent 23 %. All the rest (77 %) are costs related to heating, maintenance and renovation during the expected service life.

The economical thickness of thermal insulation also depends on the expected service life of flat roof constructional complexes and is increasing with the prolongation of the expected service life. Changes are less perceptible when the expected service life is over forty years.

It was determined that at least 60 % of all costs during the service life of a building are represented by maintenance costs (thermal losses and investment maintenance). At the

same time a conclusion can be drawn that the costs of the designing and planning phase are the smallest part and represent only 1.5 % of all costs in the service life of a building. Paradoxically, the highest savings can be made during this phase.

Buildings and other constructions of high social importance, such as infrastructure objects, highways and other important public buildings in particular should be analysed in detail in terms of Life Cycle Cost Assessment (LCCA), energy savings, environmental protection and recycle aspects.

LITERATURA IN VIRI

Uporabljeni viri

Akcijski načrt EU, 2005, Akcijski načrt EU, 20 % prihrankov do leta 2020: Evropska komisija razkriva akcijski načrt o energetske učinkovitosti, Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential, Evropski parlament, www.europa.eu, www.europarl.europa.eu, 14. junij 2007

Arima, Takanori, 2005, Life Cycle Energy Consumption, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,

Asimow, Morris, 1962, Introduction to Design, University of California, Los Angeles, USA, 148 str.,

Athena Institute, 2002, Integrating LCA Tools in Green Building Rating Systems, www.athenasmi.ca, Canada, 15. feb. 2007,

Bochen, J., Gil S., Szwabowski J., 2005, Influence of Ageing Process on Porosity Changes of the External Plasters, Elsevier, Poland, str. 769 – 775,

Bogaki, Kazuaki, 2005, Life Cycle Energy Consumption, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,

Brealey, R. A., Meyers S. C., 1991, Principles of Corporate Finance, Mc Graw – Hill, Inc., 924 str.,

Budrugaec, P., 2001, Thermal Degradation Of Glass Reinforced Epoxy Resin And Polychloroprene Rubber: The Correlation Of Kinetic Parameters Of Isothermal Accelerated Aging With Those Obtained From Non-Isothermal Data, Elsevier, Romania, str. 125 – 132.,

Carlsson, B. T., K. Möller, J. Ch. Marechal, M. Köhl, M. Heck, S. Brunold, G. Jorgensen, 2001, General Methodology of Test Procedures for Assessment of Durability and Service Life, FMEA Research for and Application to the Building Domain,

Carlsson, B., K. Möller, M. Köhl, S. Brunold, U. Frei, J.C. Marechal, G. Jorgensen, 2004, The Applicability Of Accelerated Life Testing For Assessment Of Service Life Of Solar Thermal Components, Elsevier, str. 255 – 274,

Celina, M., K.T. Gillen, R.A. Assink, 2005, Accelerated Aging And Lifetime Prediction: Review Of Non-Arrhenius Behaviour Due To Two Competing Processes, Elsevier, str. 395 – 404,

Chavez – Valencia, L.E., A. Manzano-Ramirez, E. Alonso-Guzman, M.E. Contreras-Garcia, 2005, Modelling Of The Performance Of Asphalt Pavement Using Response Surface Methodology – The Kinetics Of The Ageing, Elsevier, str. 933 – 939,

Chitambira, B., AL-Tabbaa A., Perera A.S.R., Yu X. D., 2006, The Activation Energy of Stabilized / Solidified Contaminated Soils, Elsevier, China, 8 str.,

Czarderna, A.W., Pern F.J., 1995, Encapsulation of PV Modules Using Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Copolymer as a Pottant: A Critic Review, Elsevier, USA, str. 101 – 181,

- Fawcett, A.H., McNally T., 1999, Blends of Bitumen With Various Polyolefins, Elsevier, Ireland, str. 5315 – 5326,
- Feist, Wolfgang, 1996, Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern, Verlag Das Beispiel, Darmstadt, Germany,
- Gillen, Kenneth T., Robert Bernstein, Dora K. Derzon, 2004a, Evidence Of Non-Arrhenius Behaviour From Laboratory Aging And 24-Year Field Aging Of Polychloroprene Rubber Materials, Elsevier, str. 57 – 67,
- Gillen, Kenneth T., Robert Bernstein, Mathew Celina, 2004b, Non – Arrhenius Behavior For Oxidative Degradation Of Chlorosulfonated Polyethylene Materials, Elsevier, str. 335 – 346,
- Glasstone, Samuel, 1946, The Elements Of Physical Chemistry, D. van Nostrand Company, New York, USA, 675 str.,
- Glasstone, Samuel, 1951, Textbook of Physical Chemistry, Macmillan and Co. Limited, London, Great Britain, 1193 str.,
- Gluch, Pernilla, 2005, Building Green, Perspectives on Environmental Management in Construction, Göteborg, Sweden, 63 str.,
- Harshfield, M, 2006, Service Life Considerations in Relation to Green Building Rating Systems, Athena Institute, Merrickville, Canada,
- Hashigawa, Hiroshi, 2005, Architecture for a Sustainable Future, All about the Holistic Approach in Japan, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,
- Ikaga, Toshiharu, 2005, Life Cycle Energy Consumption, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan,
- Itonaga, Koji, 2005, Architecture for a Sustainable Future, All about the Holistic Approach in Japan, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,
- Iwamura, Kazuo, 2005, Architecture for a Sustainable Future, All about the Holistic Approach in Japan, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,
- Iwata, Mamoru, 2005, Life Cycle Energy Consumption, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,
- Jabukowitz, Ignacy, Nazdaneh Yarahmadi, Thomas Geart, 1999, Effects of Accelerated and Natural Ageing on Plasticized Polyvinyl Chloride (PVC), Sweden, str. 415 – 421,
- Ješe, Robi, 2006, Strukturne in spektroskopske lastnosti materialov v iono-optičnih sistemih, doktorska disertacija, Ljubljana,
- Johansson, J.K., 1997, Global Marketing, Times Mirror Books, USA, 716 str.,
- Jorgensen, G., 2003 a, A Phenomenological Approach to Obtaining Correlations Between Accelerated and Outdoor Exposure Test Results fo Organic Materials, New Directions in
-

Coatings Performance Technology, ASTM STP 1435, ASTM International, West Conshohociken, PA, USA, 12 str.,

Jorgensen, G., S. Brunold, B. Carlsson, K. Möller, M. Heck, M. Köhl, 2003 b, Durability Of Polymeric Glazing Materials For Solar Applications, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA, 18 str.,

Kernan, P. et al., 2001, Best Practice Guide, Material Choices for Sustainable Design, Greater Vancouver Regional District GVRD, Canada, 97 str.,

Kodama, Yuichiro, 2005, Architecture for a Sustainable Future, All about the Holistic Approach in Japan, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,

Köhl, Michael, 2001, Durability of Solar Energy Materials, Fraunhofer Institut für Solare Energie Systeme, ISE, Oltmannstr. 5, D-79100 Freiburg, Germany, str. 597 – 607,

Köhl, Michael, Carlsson, Bo, Jorgensen, Gary, Czanderna, A.W., 2004, Performance and Durability Assessment, Optical Materials for Solar Thermal Systems, Elsevier B.V., The Netherlands, 2004, ISBN 0-08-044401-6, 395 str.,

Köhl, Michael, Jorgensen G., Brunold S., Carlsson B., Heck M., Möller K., 2005, Durability of Polymeric Glazing Materials for Solar Applications, Elsevier, USA, str. 618 – 623,

Krainer, Aleš, 1977, Vpliv trajnosti konstrukcijskih sklopov in gradbenih materialov na produkcijsko – potrošniški cikel zgradb, FAGG, VTOZD GG, Ljubljana, 55 str.,

Krainer, Aleš, Perdan, Rudi, Krainer, Gal., 2004, Slovene Ethnographic Museum, Ljubljana, Slovenia. V: Museums: Energy Efficiency and Sustainability in Retrofitted and New Museum Buildings (ENERGIE publication - European Unions Fifth Framework Programme for Research, Technological Development and Demonstration). Dublin: University College, 33 str.,

Krainer, Aleš, Seliškar, Niko. 1983, Vpliv trajnosti KS na produkcijsko-potrošniški cikel zgradbe, (Publikacija, št. 2). Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente, 55 str., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [1612385](#)],

Krigsvoll, G. et al., 2005, Vodnik za celostno načrtovanje in uporabo metod LCCA pri prenovi stavb, LCC – REFURB, Ljubljana, 36 str.,

Levinson, Ronnen, Berdahl, Paul, Akbari, Hashem, 1998, Solar Spectral Optical Properties of Pigments – Part I: Model for Deriving Scattering and Absorption Coefficient from Transmittance and Reflectance, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1 Cyclotron Road, Berkeley, CA 94720, USA, str. 319 – 389,

Liaw, Bor Yann, E. Peter Roth, Rudolph G. Jungst, Ganesan Nagasubramanian, Herbert L. Case, Daniel H. Doughty, 2003, Correlation Of Arrhenius Behaviors In Power And Capacity Fades With Cell Impedance And Heat Generation In Cylindrical Lithium-Ion Cells, Elsevier, str. 874 – 886,

Lipušek, I., 2005, Vrednotenje življenjskih ciklov lesnoindustrijskih izdelkov z vidika obremenjevanja okolja, doktorska disertacija, Ljubljana, 183 str.,

Lužnik, Pregl R., Križaj Bonač G., 1991, Priročnik za izdelavo investicijskega programa, Inštitut za ekonomiko investicij, Ljubljana, 208 str.,

Mansfield, E., 1993, *Managerial Economics, Theory, Applications and Cases*, W.W. Norton & Comp. Inc. USA, 648 str.,

Murakami, Shuzo, 2005, *The Idea of a Sustainable Society*, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan,

Nagashima, Koichi, 2005, *Architecture for a Sustainable Future, All about the Holistic Approach in Japan*, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,

Nohara, Fumio, 2005, *Life Cycle Energy Consumption*, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,

Nohara, Masao, 1997, *Study Of Prediction Method For Thermo-Oxidative Life Of Plastics By Thermal Analysis*, Elsevier, str. 263 – 268,

NPVO - Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, 2004, *Nacionalni program varstva okolja – NPVO*, Ljubljana,

Oelhafen P., A. Schueler, 2005, *Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion*, Elsevier, Swiss, str. 110 – 121,

Oka, Tatsuo, 2005, *Architecture for a Sustainable Future, All about the Holistic Approach in Japan*, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan, 294 str.,

Orel, Boris, L. Slemenik Perše, A. Šurca Vuk, I. Jerman, D. Merlini, 2006, *Selektivni barvni premazi za sončne fasade*, Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, Ljubljana, Color Medvode, Slovenija, 14 str.,

Owens, J.W., 1997, *Life Cycle Assessment: Constraints on Moving from Inventory to Impact Assessment*, Journal of Industrial Ecology, USA,

Rebernik, M., 1995, *Ekonomika podjetja*, Gospodarski vestnik, Ljubljana, 299 str.,

Roodman, Lenssen, 1995, *Worldwatch Institute, Paper 124*, USA,

Rudbeck, Claus, 2002, *Service Life Of Building Envelope Components: Making It Operational In Economical Assessment*, Elsevier, str. 83 – 89,

Seliškar, Niko, 1981, *Staranje objektov, 1. del*, FGG, Ljubljana, 181 str.,

Seliškar, Niko, 1982, *Projektiranje različnih konstrukcijskih sklopov in njihov vpliv na kvaliteto in življenjsko dobo objektov*, doktorska disertacija, FGG, Ljubljana, 182 str.,

Sonibare, O.O., R. Egashira, T.A. Adedosu, 2003, *Thermo-Oxidative Reactions Of Nigerian Oil Sand Bitumen*, Elsevier, str. 195 – 205,

Strukturni skladi EU v Sloveniji, 2004, *Priročnik za izdelavo analize stroškov in koristi investicijskih projektov*, Ljubljana, 136 str.,

Yashiro, Tomonari, 2005, *A New Paradigm for Architectural Design*, Edited by Architectural Institute of Japan (AIJ), Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC), Tokyo, Japan.

Ostali viri

Anderson, R. David, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams, 1996, *Statistics for Business and Economics, Sixth Edition*, West Publishing Company, St. Paul, MN, USA, 876 str.,

Andrady, A.L., S.H. Hamid, X. Hu, A. Torikai, 1998, *Effect of Increased Solar Ultraviolet Radiation on Materials*, USA,

Baumol, William J., Wallace E. Oates, 1988, *The Theory of Environmental Policy*, 2nd Edition, Cambridge University Press, New York, USA,

Boström, Tobias K., Ewa Wäckelgard, Gunnar Westin, 2005, *Durability Tests of Solution – Chemically Derived Spectrally Selective Absorbers*, Sweden, 197 – 207 str.,

Brogren, Maria, Anna Helgesson, Björn Karlsson, Hohan Nilsson, Arne Roos, 2004, *Optical Properties, Durability, and System Aspects of a New Aluminium – Polymer – Laminated Steel Reflector for Solar Concentrators*, Sweden,

Brunold, S., U. Frei, B. Carlsson, K. Möller, M. Köhl, 1999, *Round Robin on Accelerated Life Testing for Solar Absorber Surface Durability*, USA, str. 239 – 253,

Brunold, S., U. Frei, B. Carlsson, K. Möller, M. Köhl, 2000, *Accelerated of Solar Absorbers Coatings: Testing Procedure and Results*, Switzerland, Sweden, Germany, str. 313 – 323,

Burke, Stephen, 2003, *Determining the Economic Effects of Using Building Physics Tools During the Building Process*, Lund, Sweden,

Busse, Hans-Busso von, Nils Valerian Woubke, Rudolf Grimm, Jürgen Merins, 1992, *Atlas Flache Dächer, Nutzbare Flächen*, Rudolf Müller Verlag, Köln, Deutschland,

Carlsson, B., K. Möller, M. Köhl, U. Frei, S. Brunold, 1999, *Qualification Test Procedure For Solar Absorber Surface Durability*, Elsevier, str. 255 – 275,

Carlsson, B., K. Möller, U. Frei, S. Brunold, M. Köhl, 1999, *Comparison Between Predicted And Actually Observed In-Service Degradation Of A Nickel Pigmented Anodized Aluminium Absorber Coating For Solar DHW systems*, Elsevier, str. 223 – 238,

Crnjak, Orel, Zorica, Klanjšek Gunde, Marta, Orel, Boris, Köhl, Michael. 1996, *Optical Properties Of Black And Green Selective Paints: Stability Studies Of Black Painted Spectrally Selective Coatings*. V: Götzberger, A. (ur.), Luther, J. (ur.). EuroSun'96, Freiburg, Germany., EuroSun'96: proceedings. München, cop. 1996: DGS-Sonnenenergie, str. 500-504. [COBISS.SI-ID [754458](#)],

Crnjak, Orel, Zorica, Lenček, Alojz, Orel, Boris. *Selective Paint Coating For Copper And Stainless Steel Absorbers*. V: Krainer, Aleš (ur.), Perdan, Rudi (ur.), Kristl, Živa (ur.). 1998, *The Second ISES-Europe Solar Congress*, Portorož, Slovenia, September 14-17, 1998. EuroSun 98: book of abstracts. Ljubljana: International Solar Energy Society, Slovenian Section, 1 str. (III.1.4). [COBISS.SI-ID [1681946](#)],

Crnjak, Orel, Zorica, Leskovšek, Nevenka, Orel, Boris, Köhl, Michael, Frei, U., Descy, G. G., 1992, *Thermal Stability Of Paint Coatings For Solar Collector Panels*. V: Hugot-Le Goff, Anne (ur.), Granqvist, Cläs-Göran (ur.), Lampert, Carl M. (ur.). SPIE's meeting, 18 May 1992, Toulouse-Labege, France. *Optical materials technology for energy efficiency and solar energy*

conversion XI: selective materials, concentrators and reflectors, transparent insulation and superwindows: proceedings, (SPIE proceedings series, vol. 1727). Washington: SPIE, str. 102-113. [COBISS.SI-ID [1468698](#)],

Czanderna, A.W, D.K. Benson, G.J. Jorgensen, J.G. Zhang, C.E. Tracy, S.K. Deb, 1999, Durability Issues and Service Lifetime Prediction of Electrochromic Windows for Buildings Applications, USA, str. 419 – 436,

Czanderna, A.W., G.J. Jorgensen, 1999, Service Lifetime Prediction for Encapsulated Photovoltaic Cells / Minimodules, Centre for Performance Engineering and Reability National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO 80401-3393, 17 str.,

Fragmat, 2007, Prospektni materiali, tehnične informacije, aplikativni dokumenti in spletna stran (www.FRAGMAT.si) proizvajalca toplotno izolacijskih in hidroizolacijskih materialov, Sodražica, Laško, Ljubljana, 10. julij 2007,

Gabelich, Christopher J., John C. Frankin, Friedrich W. Geringer, Kenneth P. Ishida, I. H. Suffet, 2005, Enhanced Oxidation of Polyamide Membranes Using Monochloramine and Ferrous Idon, USA

Gerilla, G.P., K. Teknomo, K. Hokao, 2006, An Environmental Assessment of Wood and Steel Reinforced Concrete Housing Construction, Elsevier, Japan, Austria,

Gertis, Karl, 1998, Bauphysik, Berichte aus Forschung und Praxis, Festschrift zum 60. Geburtstag von Karl Gertis, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland, 738 str.,

Gupta, Tarakranjan, Basudam Adhikari, 2002, Thermal Degradation And Stability Of HTPB-Based Polyurethane And Polyurethaneureas, Elsevier, India, str. 169 – 181,

Guseva, Olga, Samuel Brunner, Peter Richner, 2003, Service Life Prediction For Aircraft Coatings, Elsevier, Swiss, 13 str.,

Ipekoglu, B., H. Böke, Ö. Cizer, 2005, Assesment of Material Use in Relation to Climate in Historical Buildings, Turkey,

Jacques, L.F.E., 2000, Accelerated and Outdoor / Natural Exposure Testing of Coatings, USA, str. 1337 – 1362,

Kladnik, Rudolf, Krainer, Aleš, Klanjšek Gunde, Marta, Orel, Boris. 1988, Vpliv radiacijskega hlajenja strehe na toplotni odziv zgradbe. Gradb. vestn., let. 37, št. 1/3, str. 45-51. [COBISS.SI-ID [39623424](#)],

Krainer, Aleš. 1997, Pametna hiša: termodinamični in optični del: zaključno poročilo o rezultatih opravljenega raziskovalnega dela na temeljnem raziskovalnem projektu v letu 1996. Ljubljana: FAGG, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, 99 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [105366272](#)],

Krainer, Aleš. 1999, Trends in automatic control. V: Asimakopoulos, D. N. (ur.). Solar Control Handbook Design Guidelines: Integrated Approach To Solar Control. Athens: [s. n.], str. 6/1-6/12, ilustr., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [864609](#)],

Krajewski, L.J., Ritzman L. P., 1996, Operations Management, Addison-Wesley Publishing Comp., 878 str.,

Kralj, Iztok. 1981, Gradbene napake: diplomska naloga. Ljubljana: [A. Kralj], 221 f., ilustr., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [1528161](#)]

Lengar, Zvone, Orel, Boris. 1982, Razvoj spektroskopskih in elektrokemijskih metod za karakterizacijo gradbenih materialov, (RSS: poročilo, XIII-258). Ljubljana: KIBK, [COBISS.SI-ID [11864069](#)],

Li, Zhuguo, 2005, A New Life Cycle Impact Assessment Approach for Buildings, Japan, str. 1414 – 1422,

Lu, Xiaohu, Ulf Isacson, 1997, Chemical And Rheological Evaluation Of Ageing Properties Of SBS Polymer Modified Bitumens, Elsevier, str. 961 – 972,

Miyano, Yansushi, Masayuki Nakada, Naoyuki Sekine, 2004, Accelerated Testing for Long – Term Durability of GFRP Laminates for Marine Use, Japan, str. 497 – 502,

Moorhead, Gregory, Ricky W. Griffin, 1995, Organizational Behaviour, Forth Edition, Houghton Mifflin Company, Boston, USA, 612 str.,

Oelhafen, P., A. Schüler, 2005, Nanostructured Materials for solar energy conversion, Elsevier, Switzerland,

Orel, Boris, Crnjak Orel, Zorica, Klanjšek Gunde, Marta, Krainer, Aleš. 1987, Študij spektralno selektivnih premazov v gradbeništvu, (Študij spektralno selektivnih premazov v gradbeništvu), (Varčevanje z energijo in njeno racionalno preoblikovanje). Ljubljana: RSS, 1 zv. (loč. pag.), ilustr. [COBISS.SI-ID [16018432](#)],

Orel, Boris, Crnjak Orel, Zorica, Klanjšek Gunde, Marta. 1987, Študij spektralno selektivnih premazov za sončne zbiralnike, (Študij spektralno selektivnih premazov za sončne zbiralnike), (Uvajanje in uporaba nekonvencionalnih virov energije). Ljubljana: RSS, 1 zv. (loč. pag.), ilustr. [COBISS.SI-ID [19581184](#)],

Orel, Boris, Kaluža, Leon, Vince, Jelica, Šurca Vuk, Angela, Opara Krašovec, Urša, Vodlan, Marjana, Jelen, Boris, Cedilnik, Tadej. 1999, Solar Building Facades (Sunface): final report (1.1.1999-31.1.2001): EC-Joule-contract no. JOR3-CT98-0240, Research founded in part by The European Commission in the framework of the Non Nuclear Energy Programme Joule III. 76 str., Graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [2572826](#)],

Orel, Boris, Kaluža, Leon, Vince, Jelica, Šurca Vuk, Angela. Solar Building Facades (Sunface): Second-Year Progress Report: EC-Joule-contract no. JOR3-CT98-0240, Research founded in part by The European Commission in the framework of the Non Nuclear Energy Programme Joule III. 24 f., Graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [2267674](#)],

Orel, Boris, Lavrenčič Štangar, Urška, Šurca Vuk, Angela, Opara Krašovec, Urša. Sol-Gel, 2000, Revêtement Optique Pour Ampoules Automobiles. Sol-gel, fenetre électrochromique. Les membranes sol-gel conductrices protoniques pour cellules de combustion = Sol-Gel Optical Coatings For Automotive Lamps. All Sol-Gel Electrochromic Device. Proton-Conducting Sol-Gel Membranes For Fuel Cells: [poster]. V: Marché international des technologies avancées, 10eme Édition, 18-21 Octobre 2000, Toulouse. [COBISS.SI-ID [2281498](#)],

Orel, Boris, Šurca Vuk, Angela, Vince, Jelica, Opara Krašovec, Urša, Jelen, Boris, Köhl, Michael. 2001, Spectrally selective coatings for unglazed solar building facades: [lecture]. V: Sharjah Solar Energy Conference, UAE, [COBISS.SI-ID [2328602](#)],

Orel, Boris, Švegl, Franc, Bukovec, Nataša, Kosec, Marija. 1992, Spectrally Selective Cuo Particulate Thin Solid Coatings On Stainless Steel And Glass Substrate. Structural And Optical Properties. V: Hugot-Le Goff, Anne (ur.), Granqvist, Cläs-Göran (ur.), Lampert, Carl M. (ur.). SPIE's meeting, 18 May 1992, Toulouse-Labege, France. Optical materials technology for

energy efficiency and solar energy conversion XI: selective materials, concentrators and reflectors, transparent insulation and superwindows. [COBISS.SI-ID [1468954](#)],

Orel, Boris. 1997, Sodobne zasteklitve: inteligentna okna = Modern Glazing - Intelligent Windows = Moderne Verglasung - Intelligente Fenster. EGES, Energ. gospod. ekol. Slov., 1997, št. 2, str. 100-103. [COBISS.SI-ID [1563162](#)],

Orel, Boris. 1998, Development Of Solar Energy Materials For Smart Windows And Solar Facades. V: [meeting organized by] European Commission [and] Fondation Sophia Antipolis, Centre International de l'Environnement, Sophia Antipolis (FR), Renewable energies technologies and strategies in Central and Eastern European countries. [COBISS.SI-ID [1855770](#)],

Ovono, D. Ovono, I. Guillot, D. Massinon, 2006, Determination Of The Activation Energy In A Cast Aluminium Alloy By TEM (Transmission Electron Microscopy) And DSC (Differential Scanning Calorimeter), Elsevier, 6 str.,

Real, L.P., Gerdette J.L., 2001, Ageing and Characterisation of PVC-Based Compounds Utilised for Exterior Applications in the Building Construction Field, 1: Thermal Ageing, Elsevier, Portugal, France, str. 779 – 787,

Schaffer, Richard, Beverley Earle, Filiberto Agusti, 1996, International Business Law and its Environment, Third Edition, West Publishing Company, St. Paul, MN, USA, 723 str.,

Tracy, C.P., J.G. Zhang, D.K. Benson, A.W. Czanderna, S.K. Bebb, 1998, Accelerated Durability Testing of Electrochromic Windows, USA, str. 3195 – 3202,

Va-Q-Tec, 2007, Prospektni material in spletna stran (www.Va-Q-Tec.com) proizvajalca novih toplotnoizolativnih materialov, Nemčija, 15. april 2007,

Wood, Kurt A., 2000, Optimizing The Exterior Durability Of New Fluoropolymer Coatings, Elsevier, str. 207 – 213,

Wyatt, Dove, 2005, The Contribution of FMEA and FTA to the Performance Review and Auditing of Service Life Design of Constructed Assets, 10 DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon, France, str. 122 – 131,

Yang, Seung-Ie, Dan M. Frangopol, Luis C. Neves, 2003, Service Life Prediction Of Structural Systems Using Lifetime Functions With Emphasis On Bridges, Elsevier, str. 39 - 51.

Standardi, pravilniki in tehnični predpisi s področja obravnavanih tem

EN 1427: 2005, Bitumen And Bituminous Binders – Determination Of The Softening Point – Ring And Ball Method,

EN ISO 14040: 1997, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles And Framework, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Načela in okviri,

EN ISO 14041: 1998, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal And Scope Definition And Inventory Analysis, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Opredelitev cilja in obsega ter popis vplivov na okolje,

EN ISO 14042: 2000, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Ovrednotenje vplivov na okolje,

EN ISO 14043: 2000, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation, Ravnanje z okoljem – Ocenjevanje življenjskega cikla – Predstavitev rezultatov analize življenjskega cikla,

ISO 12567-1: 2000 - Thermal performance of windows and doors - Determination of thermal transmittance by hot box method - Part 1: Complete windows and doors,

ISO 15686 – 1: 2000, Building and Construction Assets, Service Life Planning, Part 1: General Principles,

ISO 15686 – 2: 2001, Building and Construction Assets, Service Life Planning, Part 2: Service Life Prediction Procedures,

ISO 15686 – 3: 2002, Building and Construction Assets, Service Life Planning, Part 3: Performance Audits and Reviews,

ISO 15686 – 6: 2004, Building and Construction Assets, Service Life Planning, Part 6: Procedures for Considering Environmental Impacts,

SIST DIN 18195- 1: 2006 - Tesnjenje objektov – 1. del: Splošno, pojmi, namen posameznih vrst izolacije - Bauwerksabdichtungen - Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten,

SIST DIN 18195- 2: 2006 - Tesnjenje objektov – 2. del: Materiali - Bauwerksabdichtungen - Teil 2: Stoffe,

SIST DIN 18195- 3: 2006 - Tesnjenje objektov – 3. del: Zahteve za podlago in obdelava materialov (vgrajevanje) - Bauwerksabdichtungen - Teil 3: Anforderungen an den Untergrund und Verarbeitung der Stoffe,

SIST DIN 18195- 4: 2006 - Tesnjenje objektov – 4. del: Tesnjenje pred talno vlago (kapilarna vlaga) in ponikajočo vodo, ki ne zastaja, na talne plošče in stene – Dimenzioniranje in izvedba - Bauwerksabdichtungen - Teil 4: Abdichtungen gegen Bodenfeuchte (Kapillarwasser, Haftwasser) und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden, Bemessung und Ausführung,

SIST DIN 18195- 5: 2006 - Tesnjenje objektov – 5. del: Tesnjenje pred nepritiskajočo vodo na stropne površine in v mokrih prostorih - Dimenzioniranje in izvedba - Bauwerksabdichtungen - Teil 5: Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen, Bemessung und Ausführung,

SIST DIN 18195- 6: 2006 - Tesnjenje objektov - 6. del: Tesnjenje pred pritiskajočo zunanjo vodo in pronikajočo vodo, ki zastaja – Dimenzioniranje in izvedba - Bauwerksabdichtungen - Teil 6: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser; Bemessung und Ausführung,

SIST DIN 18195- 7: 1997 - Tesnjenje objektov - Tesnjenje pred pritiskajočo notranjo vodo - Dimenzioniranje in izvedba - Bauwerksabdichtungen - Teil 7: Abdichtungen gegen von innen drückendes Wasser; Bemessung und Ausführung,

SIST DIN 18195- 8: 2006 - Tesnjenje objektov - 8. del: Tesnjenje dilatacijskih gibajočih stikov - Bauwerksabdichtungen - Teil 8: Abdichtungen über Bewegungsfugen,

SIST DIN 18195- 9: 2006 - Tesnjenje objektov – 9. del: Preboji, prehodi, priključki in zaključki - Bauwerksabdichtungen - Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse,

SIST DIN 18195-10: 2006 - Tesnjenje objektov – 10. del: Zaščitne plasti in varovalni ukrepi - Bauwerksabdichtungen - Teil 10: Schutzschichten und Schutzmaßnahmen,

SIST EN ISO 14001: 2004, Sistem ravnanja z okoljem – Zahteve z navodili za uporabo, 2005,

SIST EN 1107-1: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - 1. del: Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Določevanje dimenzijske stabilnosti - Flexible sheets for waterproofing - Part 1: Bitumen sheets for roof waterproofing - Determination of dimensional stability,

SIST EN 1107-2: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje dimenzijske stabilnosti - 2. del: Polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of dimensional stability - Part 2: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing,

SIST EN 1108: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Določevanje stabilnosti oblike pri cikličnih spremembah temperature - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen sheets for roof waterproofing - Determination of form stability under cyclical temperature changes,

SIST EN 1109: 2000, Hidroizolacijski trakovi – Bitumenski trakovi za tesnenje streh – Določevanje upogljivosti pri nizkih temperaturah,

SIST EN 1110: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Določevanje odpornosti proti tečenju pri povišani temperaturi - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen sheets for roof waterproofing - Determination of flow resistance at elevated temperature,

SIST EN 12039: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Določevanje sprejemljivosti posipa - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen sheets for roof waterproofing - Determination of adhesion of granules,

SIST EN 12310-1: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - 1. del: Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Določevanje odpornosti proti trganju ob žeblju - Flexible sheets for waterproofing - Part 1: Bitumen sheets for waterproofing - Determination of resistance to tearing (nail shank),

SIST EN 12310-2: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje odpornosti proti nadaljnjemu trganju - 2. del: Polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of resistance to tearing - Part 2: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing,

SIST EN 12311-1: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - 1. del: Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Določevanje nateznih lastnosti - Flexible sheets for waterproofing - Part 1: Bitumen sheets for roof waterproofing - Determination of tensile properties,

SIST EN 12311-2: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje nateznih lastnosti - 2. del: Polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of tensile properties - Part 2: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing,

SIST EN 12316-1: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - 1. del: Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Določevanje odpornosti proti razslojevanju spojev - Flexible sheets for waterproofing - Part 1: Bitumen sheets for roof waterproofing - Determination of peel resistance of joints,

SIST EN 12316-2: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje odpornosti proti razslojevanju spojev - 2. del: Polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of peel resistance of joints - Part 2: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing,

SIST EN 12317-1: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - 1. del: Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Določevanje strižne trdnosti spojev - Flexible sheets for waterproofing - Part 1: Bitumen sheets for roof waterproofing - Determination of shear resistance of joints,

SIST EN 12317-2: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje strižne trdnosti spojev - 2. del: Polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of the shear resistance of joints - Part 2: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing,

SIST EN 12730: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski, polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Določevanje odpornosti proti statičnim obremenitvam - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Determination of resistance to static loading,

SIST EN 1296: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski, polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Metoda umetnega staranja z dolgotrajno izpostavitvijo povišani temperaturi - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roofing - Method of artificial ageing by long term exposure to elevated temperature,

SIST EN 1297: 2005 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski, polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Metoda umetnega staranja z dolgotrajno izpostavitvijo ultravijoličnemu sevanju, povišani temperaturi in vodi - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Method of artificial ageing by long term exposure to the combination of UV radiation, elevated temperature and water,

SIST EN 13416: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski, polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Pravila vzorčenja - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Rules for sampling,

SIST EN 13583: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski, polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Določevanje odpornosti proti toči - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Determination of hail resistance,

SIST EN 13596: 2005 - Hidroizolacijski trakovi - Hidroizolacija betonskih premostitvenih objektov in drugih betonskih povoznih površin - Določanje oprijemne trdnosti - Flexible sheets for waterproofing - Waterproofing of concrete bridge decks and other concrete surfaces trafficable by vehicles - Determination of bond strength,

SIST EN 13707: 2005 - Hidroizolacijski trakovi - Ojačeni bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Definicije in lastnosti - Flexible sheets for waterproofing - Reinforced bitumen sheets for roof waterproofing - Definitions and characteristics,

SIST EN 13969: 2005 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski tesnilni trakovi za temelje - Definicije in lastnosti - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen damp proof sheets including bitumen basement tanking sheets - Definitions and characteristics,

SIST EN 13970: 2005 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski trakovi, ki kontrolirajo gibanje vode in/ali vodne pare - Definicije in lastnosti - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen water vapour control layers - Definitions and characteristics,

SIST EN 13984: 2005 - Hidroizolacijski trakovi - Polimerni in elastomerni trakovi, ki kontrolirajo gibanje vode in/ali vodne pare - Definicije in lastnosti - Flexible sheets for waterproofing - Plastic and rubber vapour control layers - Definitions and characteristics,

SIST EN 1848-1: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje dolžine, širine in ravnosti - 1. del: Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of length, width and straightness - Part 1: Bitumen sheets for roof waterproofing,

SIST EN 1848-2: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje dolžine, širine in ravnosti - 2. del: Polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of length, width, straightness and flatness - Part 2: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing,

SIST EN 1849-1: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje debeline in mase na enoto površine - 1. del: Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of thickness and mass per unit area - Part 1: Bitumen sheets for roof waterproofing,

SIST EN 1849-2: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje debeline in mase na enoto površine - 2.del: Polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of thickness and mass per unit area - Part 2: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing,

SIST EN 1850-1: 2000 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje vidnih napak - 1. del: Bitumenski trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of visible defects - Part 1: Bitumen sheets for roof waterproofing,

SIST EN 1850-2: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Določevanje vidnih poškodb - 2. del: Polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Flexible sheets for waterproofing - Determination of visible defects - Part 2: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing,

SIST EN 1928: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski, polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Določevanje vodotesnosti - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Determination of watertightness,

SIST EN 1931: 2001 - Hidroizolacijski trakovi - Bitumenski, polimerni in elastomerni trakovi za tesnjenje streh - Določevanje lastnosti pri prehodu vodne pare - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Determination of water vapour transmission properties,

SIST EN ISO 13789:2000 - Toplotne značilnosti delov stavb - Specifične toplotne izgube zaradi prehoda toplote - Računska metoda - Thermal performance of buildings - Transmission heat loss coefficient - Calculation method,

SIST EN ISO 13790:2005 - Toplotne značilnosti stavb – Računanje porabljene energije za segrevanje in hlajenje prostora - Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling,

SIST ISO 14020: 2000, Okoljske označbe in deklaracije – Splošna načela,

SIST ISO 14021: 2000, Okoljske označbe in deklaracije – Okoljsko samodeklariranje (Okoljsko označevanje II. vrste),

SIST ISO 14024: 2000, Okoljske označbe in deklaracije – Okoljsko označevanje I. vrste – Načela in postopki,

SIST ISO 14025: 2001, Okoljske označbe in deklaracije – Okoljsko označevanje III. vrste,

SIST ISO 14031: 2000, Ravnanje z okoljem – Vrednotenje učinkov ravnanja z okoljem – Smernice,

SIST ISO 14032: 2000, Ravnanje z okoljem – Primeri vrednotenja učinkov ravnanja z okoljem (EPE),

SIST ISO 14050: 2000, Ravnanje z okoljem – Slovar,

SIST ISO 9001: 2000, Sistem vodenja kakovosti - Zahteve, december 2000,

Uradni list Republike Slovenije, 1999, št. 14 / 1999, Pravilnik o zvočni zaščiti stavb,

Uradni list Republike Slovenije, 2003, št. 3 / 2003, z dne 10. jan. 2003, Pravilnik o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih,

Uradni list Republike Slovenije, 2003, št. 54 / 2003, Pravilnik o obliki tehničnih smernic za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje objektov,

Uradni list Republike Slovenije, 2004, št. 29 / 2004, Pravilnik o zaščiti stavb pred vlago,

Uradni list Republike Slovenije, 2004, št. 41 / 2004, Zakon o varstvu okolja (ZVO-1),

Uradni list Republike Slovenije, 2004, št. 42 / 2004 in št. 29 / 2004, Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah

Uradni list Republike Slovenije, 2004, št. 66 / 2004, z dne 18.06.2004, Pravilnik o projektni in tehnični dokumentaciji,

Uradni list Republike Slovenije, 2004, št. 66 / 2004, z dne 18.06.2004, Pravilnik o načinu označitve in organizaciji ureditve gradbišča, o vsebini in načinu vodenja dnevnika o izvajanju del in o kontroli gradbenih konstrukcij na gradbišču,

Uradni list Republike Slovenije, 2005, št. 54 / 2005, z dne 03.06.2005, Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o projektni in tehnični dokumentaciji,

PRILOGE

Priloga A: Rezultati testiranja pospešenega staranja bitumenskih trakov po metodi upogljivosti pri nizkih temperaturah

št. vzorca	material	temperatura staranja	staranje dni	upogljivost pri nizkih temperaturah	opomba
1	IZOTEKT V4 plus	sobna temp.	-	0 °C	meritve vrednosti upogljivosti pri nizkih temperaturah niso pokazale zaznavnih sprememb, tako so vsi vzorci bitumenskih trakov po staranju na sobni temperaturi, kot tudi na temperaturah + 70 °C ali + 80 °C nespremenjeni
2	IZOTEKT V4 plus	+ 70 °C	84 dni	0 °C	
3	IZOTEKT V3	sobna temp.	-	0 °C	
4	IZOTEKT V3	+ 70 °C	84 dni	0 °C	
5	IZOTEKT V4	sobna temp.	-	0 °C	
6	IZOTEKT V4	+ 70 °C	84 dni	0 °C	
7	IZOELAST REFLEX T4	sobna temp.	-	- 27 °C	
8	IZOELAST REFLEX T4	+ 70 °C	84 dni	- 27 °C	
9	IZOTEKT REFLEX V4	sobna temp.	-	0 °C	
10	IZOTEKT REFLEX V4	+ 80 °C	3 dni	0 °C	
11	IZOTEKT REFLEX V4	+ 80 °C	7 dni	0 °C	
12	IZOELAST REFLEX T5	sobna temp.	-	- 27 °C	
13	IZOELAST REFLEX T5	+ 80 °C	3 dni	- 27 °C	
14	IZOELAST REFLEX T5	+ 80 °C	7 dni	- 27 °C	

V zgornji preglednici so prikazane začetne laboratorijske meritve, ki so nam služile kot orientacija za vsa nadaljnja testiranja pospešenega staranja, kot so določitev ustrezne temperature in ustreznih časov pospešenega staranja.

Testiranja pospešenega staranja bitumenskega traku IZOTEM V4

Izdelek v skladu s standardom SIST EN 13969

Proizvodnja: FRAGMAT TIM Laško, dne 24. november 2006

Vrednosti na svežem vzorcu: P/K +89.5 °C, upogljivost pri nizkih temperaturah – 10 °C,

Staranje: Laboratorij FRAGMAT IZOLIRKA Ljubljana

Pričetek staranja na + 70 °C: 23. januar 2007

Pričetek staranja na + 80 °C: 15. december 2006

Pričetek staranja na + 90 °C: 01. december 2006

Meritve upogljivosti pri nizkih temperaturah: Laboratorij FRAGMAT TIM Laško

Meritve spektralne analize: Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, Ljubljana

št. vzorca	material	temperatura staranja	staranje do	staranje dni	upogljivost pri nizkih temperaturah	debelina po staranju (mm)	kriterij (stran 52 in 60)
20	IZOTEM V4	sobna temp	sveži vzorec	0 dni	-10 °C	3,3	
21	IZOTEM V4	+ 90 °C	04. dec.	3 dni	-4 °C	2,6 – 3,0	upog. -4°C
22	IZOTEM V4	+ 90 °C	04. dec.	3 dni	-2 °C	3,0 – 3,4	
23	IZOTEM V4	+ 90 °C	07. dec.	6 dni	0 °C	3,3	upog. 0°C
24	IZOTEM V4	+ 90 °C	07. dec.	6 dni	+4 °C	2,9 – 3,2	
25	IZOTEM V4	+ 90 °C	10. dec.	9 dni	+4 °C	2,6 – 3,5	upog. +4°C
26	IZOTEM V4	+ 90 °C	10. dec.	9 dni	+6 °C	3,0 – 3,5	
27	IZOTEM V4	+ 90 °C	11. dec.	10 dni	0 °C	2,0 – 3,7	
28	IZOTEM V4	+ 90 °C	11. dec.	10 dni	+4 °C	1,8 – 2,6	upog. +4°C + spektr.anal.
29	IZOTEM V4	+ 90 °C	13. dec.	12 dni	+5 °C	2,4 – 3,3	
30	IZOTEM V4	+ 90 °C	13. dec.	12 dni	0 °C	2,5 – 3,8	
31	IZOTEM V4	+ 90 °C	13. dec.	12 dni	+4 °C	2,9 – 3,4	spektr.anal.
32	IZOTEM V4	+ 90 °C	13. dec.	12 dni	+2 °C	2,7 – 3,4	
33	IZOTEM V4	+ 90 °C	15. dec.	14 dni	+4 °C	2,4 – 3,2	
34	IZOTEM V4	+ 90 °C	15. dec.	14 dni	+4 °C	2,0 – 3,3	
35	IZOTEM V4	+ 90 °C	15. dec.	14 dni	+2 °C	2,0 – 3,2	
36	IZOTEM V4	+ 90 °C	15. dec.	14 dni	+8 °C	2,2 – 3,3	upog. +8°C
41	IZOTEM V4	+ 80 °C	18. dec.	3 dni	0 °C	3,2 – 3,3	
42	IZOTEM V4	+ 80 °C	18. dec.	3 dni	0 °C	3,0 – 3,4	
43	IZOTEM V4	+ 80 °C	03. jan.	16 dni	0 °C	3,2	
44	IZOTEM V4	+ 80 °C	03. jan.	16 dni	+4 °C	3,2	upog. +4 °C + spektr.anal.
45	IZOTEM V4	+ 80 °C	05. jan.	18 dni	0 °C	3,2	
46	IZOTEM V4	+ 80 °C	05. jan.	18 dni	+4 °C	3,3	upog. +4 °C
47	IZOTEM V4	+ 80 °C	08. jan.	21 dni	+4 °C	3,2	

(se nadaljuje)

(nadaljevanje)

št. vzorca	material	temperatura staranja	staranje do	staranje dni	upogljivost pri nizkih temperaturah	debelina po staranju (mm)	kriterij (stran 52 in 60)
48	IZOTEM V4	+ 80 °C	08. jan.	21 dni	+8 °C	3,2	upog. +8 °C + spektr.anal.
49	IZOTEM V4	+ 80 °C	12. jan.	25 dni	+4 °C	3,2	
50	IZOTEM V4	+ 80 °C	12. jan.	25 dni	+8 °C	3,2	upog. +8 °C
51	IZOTEM V4	+ 80 °C	23. jan.	36 dni	0 °C	3,3	
52	IZOTEM V4	+ 80 °C	23. jan.	36 dni	+6 °C	3,2	
53	IZOTEM V4	+ 80 °C	23. jan.	36 dni	+6 °C	3,2	
54	IZOTEM V4	+ 80 °C	23. jan.	36 dni	+6 °C	3,2	
55	IZOTEM V4	+ 80 °C	23. jan.	36 dni	+8 °C	3,2	
56	IZOTEM V4	+ 80 °C	23. jan.	36 dni	+10 °C	3,2	
57	IZOTEM V4	sobna temp	28. jan.	65 dni	-10 °C	3,3	
58	IZOTEM V4	sobna temp.	28. jan.	65 dni	-10 °C	3,3	
54	IZOTEM V4	+ 80 °C	23. jan.	36 dni	+6 °C	3,2	
55	IZOTEM V4	+ 80 °C	23. jan.	36 dni	+8 °C	3,2	
56	IZOTEM V4	+ 80 °C	23. jan.	36 dni	+10 °C	3,2	
57	IZOTEM V4	sobna temp	28. jan.	65 dni	-10 °C	3,3	
58	IZOTEM V4	sobna temp.	28. jan.	65 dni	-10 °C	3,3	
61	IZOTEM V4	+ 70 °C	26. jan.	3 dni	0 °C	3,3	
62	IZOTEM V4	+ 70 °C	26. jan.	3 dni	0 °C	3,3	
63	IZOTEM V4	+ 70 °C	02. feb.	10 dni	-3 °C	3,3	upog. -4 °C
64	IZOTEM V4	+ 70 °C	02. feb.	10 dni	-5 °C	3,3	upog. -4 °C
65	IZOTEM V4	+ 70 °C	12. feb.	20 dni	0 °C	3,3	upog. 0 °C
66	IZOTEM V4	+ 70 °C	12. feb.	20 dni	0 °C	3,3	upog. 0 °C
67	IZOTEM V4	+ 70 °C	21. feb.	29 dni	+2 °C	3,3	
68	IZOTEM V4	+ 70 °C	21. feb.	29 dni	+2 °C	3,3	
69	IZOTEM V4	+ 70 °C	21. feb.	29 dni	+4 °C	3,3	
70	IZOTEM V4	+ 70 °C	21. feb.	29 dni	+4 °C	3,3	
71	IZOTEM V4	+ 70 °C	02. mar.	38 dni	+6 °C	3,3	
72	IZOTEM V4	+ 70 °C	02. mar.	38 dni	+6 °C	3,3	
73	IZOTEM V4	+ 70 °C	02. mar.	38 dni	+8 °C	3,3	
74	IZOTEM V4	+ 70 °C	02. mar.	38 dni	+10 °C	3,3	
75	IZOTEM V4	+ 70 °C	02. mar.	38 dni	+12 °C	3,3	
76	IZOTEM V4	+ 70 °C	02. mar.	38 dni	+15 °C	3,3	

Postopek in vrednotenje testiranja pospešenega staranja je opisano v poglavju 4.1 'Testiranja pospešenega staranja bitumenskega traku IZOTEM' na strani 48.

Testiranja pospešenega staranja bitumenskega traku **IZOTEKT P5 PLUS**

Izdelek v skladu s standardoma SIST EN 13969 in SIST EN 13707

Proizvodnja: FRAGMAT TIM Laško, dne 28. februar 2007

Vrednosti na svežem vzorcu: P/K +150,0 °C, upogljivost pri nizkih temperaturah – 10 °C,

Staranje: Laboratorij FRAGMAT IZOLIRKA Ljubljana

Pričetek staranja na + 100 °C: 16. april 2007

Pričetek staranja na + 120 °C: 24. marec 2007

Pričetek staranja na + 140 °C: 02. marec 2007

Meritve upogljivosti pri nizkih temperaturah: Laboratorij FRAGMAT TIM Laško

Meritve spektralne analize: Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, Ljubljana

št. vzorca	material	temperatura staranja	staranje do	staranje dni	upogljivost pri nizkih temperaturah	opomba
100	IZOTEM V4	sobna temp	sveži vzorec	0 dni	-10 °C	-
101	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	03. mar.	1 dan	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
102	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	03. mar.	1 dan	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
103	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	04. mar.	2 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
104	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	04. mar.	2 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
105	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	05. mar.	3 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
106	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	05. mar.	3 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
107	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	08. mar.	6 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
108	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	08. mar.	6 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
109	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	11. mar.	9 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
110	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	11. mar.	9 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
111	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	15. mar.	13 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
112	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	15. mar.	13 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
113	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	17. mar.	15 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
114	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	17. mar.	15 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
115	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	20. mar.	18 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
116	IZOTEKT P5 plus	+ 140 °C	20. mar.	18 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
121	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	25. mar.	1 dan	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
122	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	25. mar.	1 dan	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
123	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	27. mar.	3 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
124	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	27. mar.	3 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
125	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	29. mar.	5 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
126	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	29. mar.	5 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
127	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	02. apr.	9 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
128	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	02. apr.	9 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca

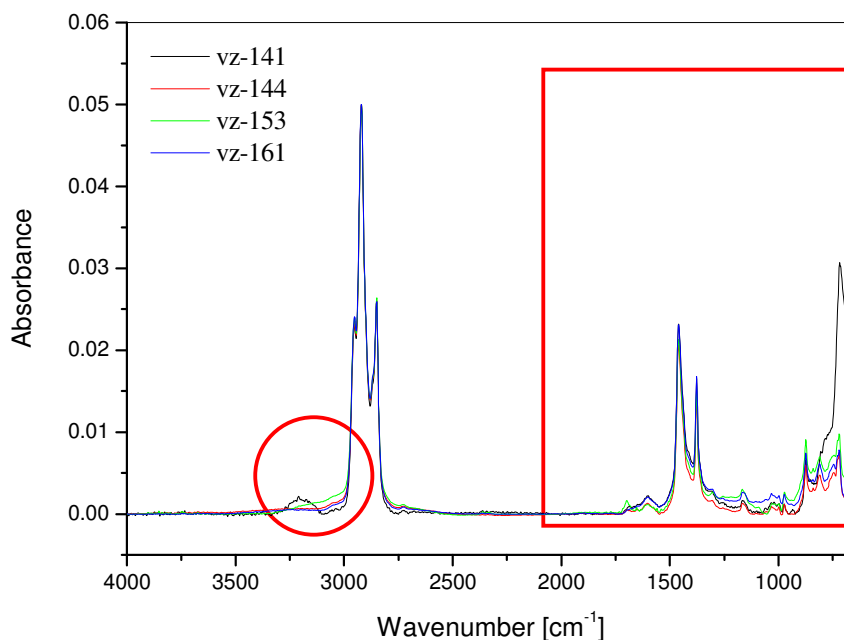
(se nadaljuje)

(nadaljevanje)

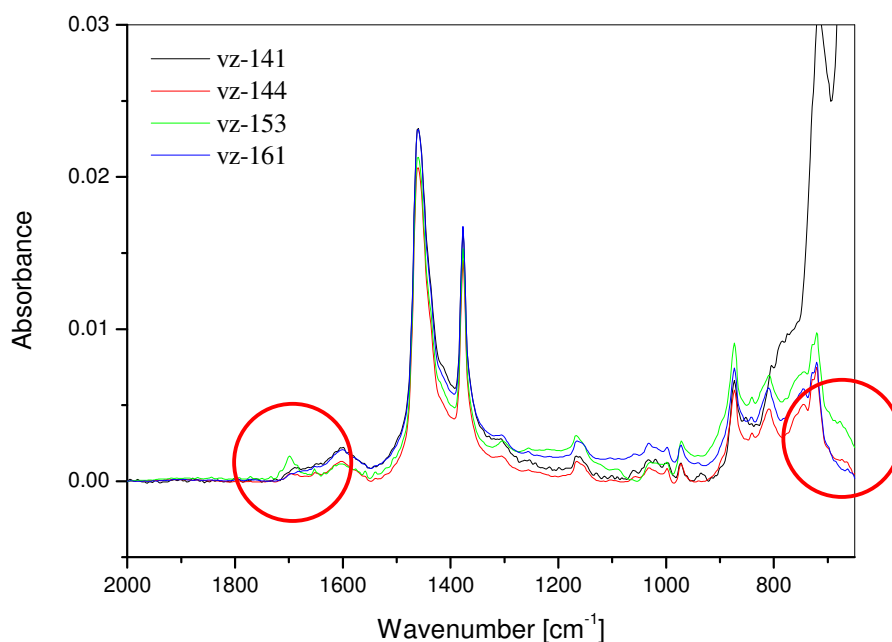
št. vzorca	material	temperatura staranja	staranje do	staranje dni	upogljivost pri nizkih temperaturah	opomba
129	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	05. apr.	12 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
130	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	05. apr.	12 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
131	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	10. apr.	17 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
132	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	10. apr.	17 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
133	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	11. apr.	18 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
134	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	11. apr.	18 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
135	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	16. apr.	23 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
136	IZOTEKT P5 plus	+ 120 °C	16. apr.	23 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
141	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	18. apr.	2 dni	+15 °C	kemijska razgradnja vzorca
142	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	18. apr.	2 dni	+15 °C	kemijska razgradnja vzorca
143	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	23. apr.	7 dni	+20 °C	kemijska razgradnja vzorca
144	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	23. apr.	7 dni	+20 °C	kemijska razgradnja vzorca
145	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	26. apr.	10 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
146	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	26. apr.	10 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
147	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	30. apr.	14 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
148	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	30. apr.	14 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
149	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	03. maj	17 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
150	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	03. maj	17 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
151	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	05. maj	19 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
152	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	05. maj	19 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
153	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	07. maj	21 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
154	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	07. maj	21 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
155	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	08. maj	22 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
156	IZOTEKT P5 plus	+ 100 °C	08. maj	22 dni	+24 °C	kemijska razgradnja vzorca
161	IZOTEKT P5 plus	sobna temp.	30. maj	91 dni	-10 °C	-
162	IZOTEKT P5 plus	sobna temp.	30. maj	91 dni	-10 °C	-

Postopek in vrednotenje testiranja pospešenega staranja je opisano v poglavju 4.2 'Testiranja pospešenega staranja bitumenskega traku IZOTEKT' na strani 64.

Priloga B: Grafikoni spektralnih analiz bitumenskih trakov

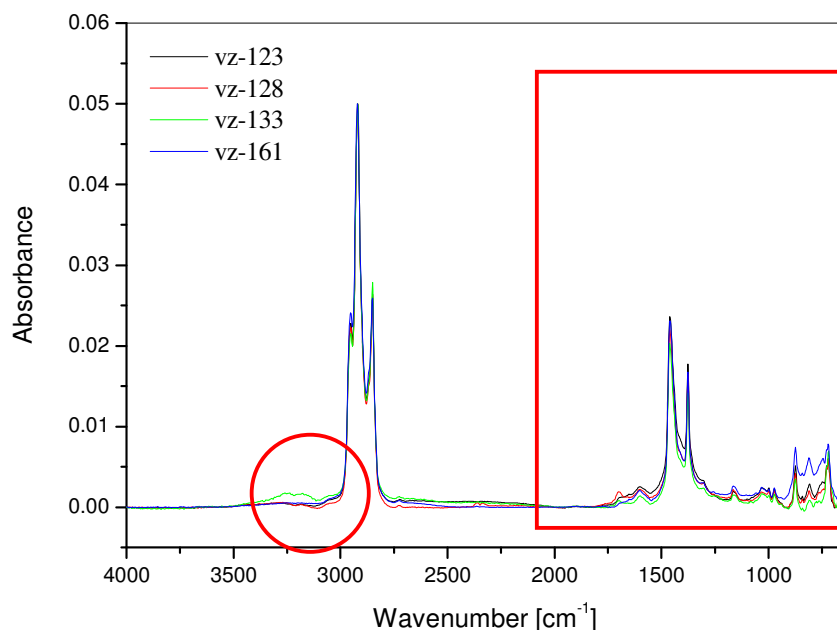


Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEKT P5, pospešeno staranje pri temperaturi +100 °C, območje od 4000 – 650 cm^{-1} .

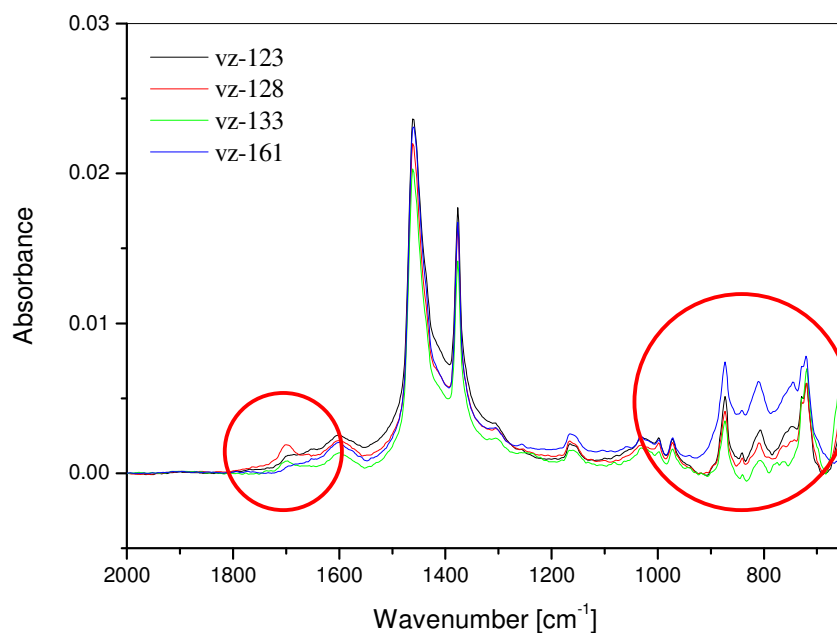


Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEKT P5 PLUS, pospešeno staranje pri temperaturi +100 °C, območje od 2000 – 650 cm^{-1} .

IR spektri vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 141 (2 dni), vzorec 144 (7 dni), vzorec 153 (21 dni), vzorec 161 (sobna temperatura, brez pospešenega staranja).

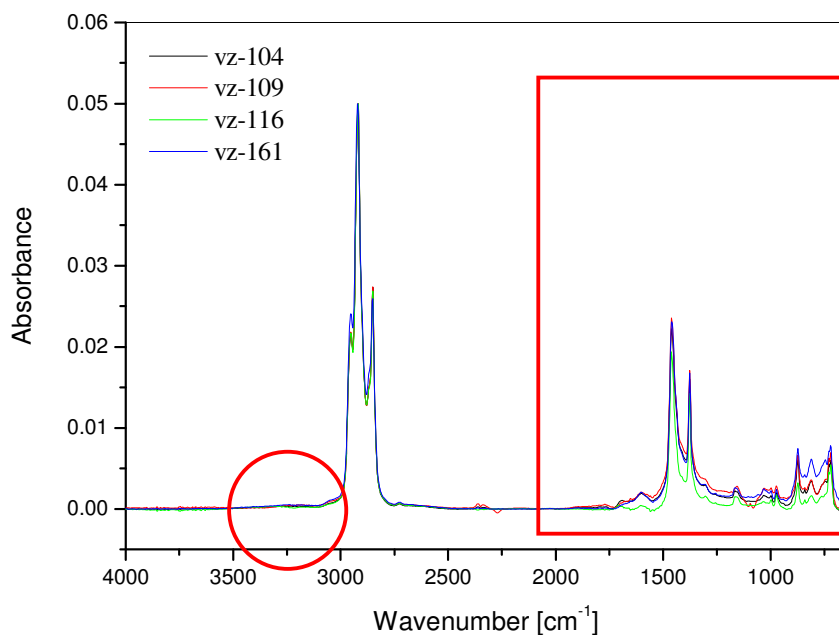


Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEKT P5 PLUS, pospešeno staranje pri temperaturi +120 °C, območje od 4000 – 650 cm⁻¹.

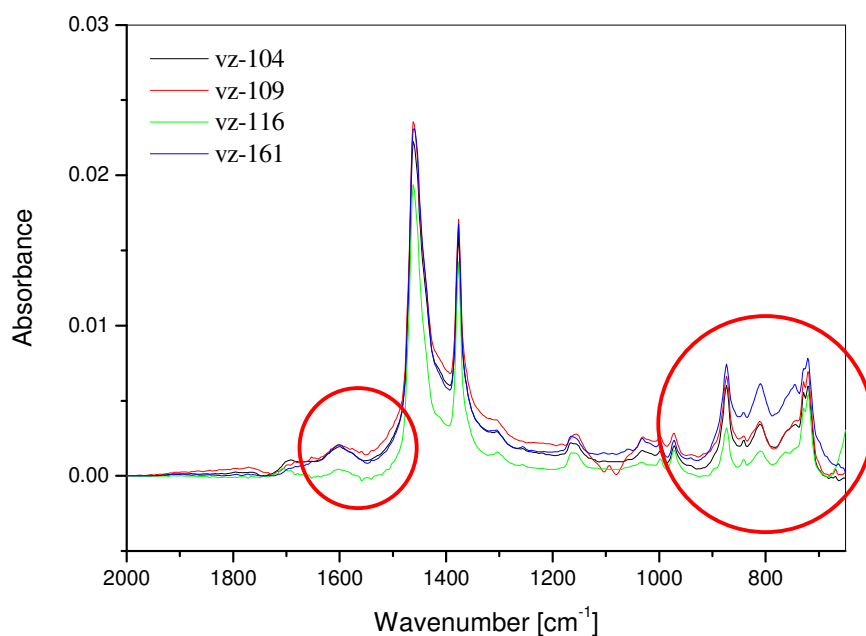


Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEKT P5 PLUS, pospešeno staranje pri temperaturi +120 °C, območje od 2000 – 650 cm⁻¹.

IR spektri vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 123 (3 dni), vzorec 128 (9 dni), vzorec 133 (18 dni), vzorec 161 (sobna temperatura, brez pospešenega staranja).



Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEKT P5 PLUS, pospešeno staranje pri temperaturi +140 °C, območje od 4000 – 650 cm⁻¹.



Spektralna analiza staranja bitumenskega traku IZOTEKT P5 PLUS, pospešeno staranje pri temperaturi +140 °C, območje od 2000 – 650 cm⁻¹.

IR spektri vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 104 (2 dni), vzorec 109 (9 dni), vzorec 116 (18 dni), vzorec 161 (sobna temperatura, brez pospešenega staranja).

Priloga C: Primeri izračunov ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu sistemov ravnih streh

Toplotnoizolativna ravna streha, 5cm toplotne izolacije, $U = 0.559W/(m^2K)$					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (KS1)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(KS2)	obrnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(KS3)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(KS4)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	6,00	6,00	0,00	4,00	6,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	9,50	5,75	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranege prodca, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrobe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	34,00	35,00	31,50	39,75	52,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	34,00	35,00	31,50	39,75	52,50
ogrevanje: toplotne izgube	98,02	98,02	98,02	98,02	98,02
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	157,53	158,53	155,03	163,28	176,03

Toplotnoizolativna ravna streha, 10cm toplotne izolacije, $U = 0.315W/(m^2K)$					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (KS1)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(KS2)	obrnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(KS3)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(KS4)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	10,00	10,00	0,00	6,00	10,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	17,00	9,50	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranege prodca, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrobe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	38,00	39,00	39,00	45,50	56,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	38,00	39,00	39,00	45,50	56,50
ogrevanje: toplotne izgube	55,24	55,24	55,24	55,24	55,24
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	118,74	119,74	119,74	126,24	137,24

Toplotnoizolativna ravna streha, 15cm toplotne izolacije, U = 0.219W/(m ² K)					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (KS1)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(KS2)	obrtnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(KS3)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(KS4)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	14,00	14,00	0,00	8,00	14,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	24,50	13,25	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranege prodca, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrabe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	42,00	43,00	46,50	51,25	60,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	42,00	43,00	46,50	51,25	60,50
ogrevanje: toplotne izgube	38,40	38,40	38,40	38,40	38,40
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	105,91	106,91	110,41	115,16	124,41

Toplotnoizolativna ravna streha, 20cm toplotne izolacije, U = 0.168W/(m ² K)					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (KS1)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(KS2)	obrtnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(KS3)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(KS4)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	18,00	18,00	0,00	10,00	18,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	32,00	17,00	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranege prodca, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrabe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	46,00	47,00	54,00	57,00	64,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	46,00	47,00	54,00	57,00	64,50
ogrevanje: toplotne izgube	29,46	29,46	29,46	29,46	29,46
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	100,97	101,97	108,97	111,97	119,47

Toplotnoizolativna ravna streha, 25cm toplotne izolacije, U = 0.136W/(m ² K)					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (K51)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(K52)	obrtnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(K53)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(K54)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (K55)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	22,00	22,00	0,00	12,00	22,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	39,50	20,75	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranelega proda, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrabe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	50,00	51,00	61,50	62,75	68,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	50,00	51,00	61,50	62,75	68,50
ogrevanje: toplotne izgube	23,85	23,85	23,85	23,85	23,85
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	99,36	100,36	110,86	112,11	117,86

Toplotnoizolativna ravna streha, 30cm toplotne izolacije, U = 0.114W/(m ² K)					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (K51)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(K52)	obrtnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(K53)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(K54)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (K55)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	26,00	26,00	0,00	14,00	26,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	47,00	24,50	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranelega proda, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrabe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	54,00	55,00	69,00	68,50	72,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	54,00	55,00	69,00	68,50	72,50
ogrevanje: toplotne izgube	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	99,50	100,50	114,50	114,00	118,00

Toplotnoizolativna ravna streha, 35cm toplotne izolacije, U = 0.099W/(m ² K)					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (KS1)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(KS2)	obrtnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(KS3)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(KS4)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	30,00	30,00	0,00	16,00	30,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	54,50	28,25	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranege prodca, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrobe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	58,00	59,00	76,50	74,25	76,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	58,00	59,00	76,50	74,25	76,50
ogrevanje: toplotne izgube	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	100,87	101,87	119,37	117,12	119,37

Toplotnoizolativna ravna streha, 40cm toplotne izolacije, U = 0.087W/(m ² K)					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (KS1)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(KS2)	obrtnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(KS3)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(KS4)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	34,00	34,00	0,00	18,00	34,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	62,00	32,00	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranege prodca, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrobe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	62,00	63,00	84,00	80,00	80,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	62,00	63,00	84,00	80,00	80,50
ogrevanje: toplotne izgube	15,26	15,26	15,26	15,26	15,26
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	102,76	103,76	124,76	120,76	121,26

Toplotnoizolativna ravna streha, 45cm toplotne izolacije, U = 0.078W/(m ² K)					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (KS1)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(KS2)	obrnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(KS3)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(KS4)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	38,00	38,00	0,00	20,00	38,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	69,50	35,75	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranege prodca, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrobe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	66,00	67,00	91,50	85,75	84,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	66,00	67,00	91,50	85,75	84,50
ogrevanje: toplotne izgube	13,68	13,68	13,68	13,68	13,68
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	105,18	106,18	130,68	124,93	123,68

Toplotnoizolativna ravna streha, 50cm toplotne izolacije, U = 0.070W/(m ² K)					
(vse v €/m ²)	topla ravna streha bitumenski trak z zašč. posipom (KS1)	topla ravna streha zaščita s pranim prod.(KS2)	obrnjena ravna str. zaščita s pranim prod.(KS3)	duo - komb. rav. str. zaščita s pranim prod.(KS4)	ozelenjena rav. str. ekstenzivna ozelenitev (KS5)
Stroški investicije					
priprava podlage, prednamaz	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
parna zapora: bitumenski trak z Al folijo	5,00	5,00	0,00	5,00	5,00
hidroizolacija: bitumenski trak v dveh slojih	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
toplotna izolacija EPS	42,00	42,00	0,00	22,00	42,00
hidroizolacija: bitumenski trakovi	17,00	12,00	0,00	12,00	13,00
toplotna izolacija XPS	0,00	0,00	77,00	39,50	0,00
ločilni ali filterni sloj	0,00	1,00	2,00	2,00	2,50
posutje pranege prodca, debeline 5cm	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00
elementi ozelenitve - ekstenzivna ozelenitev	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
ostali elementi (odtočniki, obrobe...)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
investicija skupaj:	70,00	71,00	99,00	91,50	88,50
Letni stroški					
ogrevanje: toplotne izgube	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Neto sedanja vrednost (NPV):					
investicija - skupaj	70,00	71,00	99,00	91,50	88,50
ogrevanje: toplotne izgube	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27
vzdrževanje, periodični pregledi in popravila	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
zamenjava, preplastitev, 2x v 60-ih letih	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
Neto sedanja vrednost NPV - skupaj:	107,78	108,78	136,78	129,28	126,28

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	44,40	45,20	46,00	46,80	47,60	48,40	49,20	50,00	50,80	51,60
NPV ogrevanja	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90	23,08	22,30
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	101,83	101,17	100,64	100,22	99,89	99,66	99,50	99,41	99,38	99,41
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	45,40	46,20	47,00	47,80	48,60	49,40	50,20	51,00	51,80	52,60
NPV ogrevanja	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90	23,08	22,30
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	102,83	102,17	101,64	101,22	100,89	100,66	100,50	100,41	100,38	100,41
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	51,00	52,50	54,00	55,50	57,00	58,50	60,00	61,50	63,00	64,50
NPV ogrevanja	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90	23,08	22,30
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	108,43	108,47	108,64	108,92	109,29	109,76	110,30	110,91	111,58	112,31
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	54,70	55,85	57,00	58,15	59,30	60,45	61,60	62,75	63,90	65,05
NPV ogrevanja	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90	23,08	22,30
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	112,13	111,82	111,64	111,57	111,59	111,71	111,90	112,16	112,48	112,86
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	62,90	63,70	64,50	65,30	66,10	66,90	67,70	68,50	69,30	70,10
NPV ogrevanja	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90	23,08	22,30
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	120,33	119,67	119,14	118,72	118,39	118,16	118,00	117,91	117,88	117,91

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,10 €/kWh)

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	46,80	47,60	48,40	49,20	50,00	50,80	51,60	52,40	53,20	54,00
NPV ogrevanja	34,89	33,48	32,19	30,99	29,88	28,85	27,88	26,98	26,13	25,34
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	107,19	106,59	106,10	105,70	105,39	105,15	104,99	104,88	104,84	104,84
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	47,80	48,60	49,40	50,20	51,00	51,80	52,60	53,40	54,20	55,00
NPV ogrevanja	34,89	33,48	32,19	30,99	29,88	28,85	27,88	26,98	26,13	25,34
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	108,19	107,59	107,10	106,70	106,39	106,15	105,99	105,88	105,84	105,84
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	55,50	57,00	58,50	60,00	61,50	63,00	64,50	66,00	67,50	69,00
NPV ogrevanja	34,89	33,48	32,19	30,99	29,88	28,85	27,88	26,98	26,13	25,34
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	115,89	115,99	116,20	116,50	116,89	117,35	117,89	118,48	119,14	119,84
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	58,15	59,30	60,45	61,60	62,75	63,90	65,05	66,20	67,35	68,50
NPV ogrevanja	34,89	33,48	32,19	30,99	29,88	28,85	27,88	26,98	26,13	25,34
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	118,54	118,29	118,15	118,10	118,14	118,25	118,44	118,68	118,99	119,34
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	65,30	66,10	66,90	67,70	68,50	69,30	70,10	70,90	71,70	72,50
NPV ogrevanja	34,89	33,48	32,19	30,99	29,88	28,85	27,88	26,98	26,13	25,34
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	125,69	125,09	124,60	124,20	123,89	123,65	123,49	123,38	123,34	123,34

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,12 €/kWh)

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	50,00	50,80	51,60	52,40	53,20	54,00	54,80	55,60	56,40	57,20
NPV ogrevanja	35,86	34,61	33,46	32,37	31,36	30,40	29,51	28,66	27,86	27,10
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	111,36	110,92	110,56	110,28	110,06	109,91	109,81	109,77	109,77	109,81
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	51,00	51,80	52,60	53,40	54,20	55,00	55,80	56,60	57,40	58,20
NPV ogrevanja	35,86	34,61	33,46	32,37	31,36	30,40	29,51	28,66	27,86	27,10
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	112,36	111,92	111,56	111,28	111,06	110,91	110,81	110,77	110,77	110,81
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	61,50	63,00	64,50	66,00	67,50	69,00	70,50	72,00	73,50	75,00
NPV ogrevanja	35,86	34,61	33,46	32,37	31,36	30,40	29,51	28,66	27,86	27,10
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	122,86	123,12	123,46	123,88	124,36	124,91	125,51	126,17	126,87	127,61
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	62,75	63,90	65,05	66,20	67,35	68,50	69,65	70,80	71,95	73,10
NPV ogrevanja	35,86	34,61	33,46	32,37	31,36	30,40	29,51	28,66	27,86	27,10
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	124,11	124,02	124,01	124,08	124,21	124,41	124,66	124,97	125,32	125,71
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	68,50	69,30	70,10	70,90	71,70	72,50	73,30	74,10	74,90	75,70
NPV ogrevanja	35,86	34,61	33,46	32,37	31,36	30,40	29,51	28,66	27,86	27,10
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	129,86	129,42	129,06	128,78	128,56	128,41	128,31	128,27	128,27	128,31

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,15 €/kWh)

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	54,00	54,80	55,60	56,40	57,20	58,00	58,80	59,60	60,40	61,20
NPV ogrevanja	38,00	36,88	35,82	34,83	33,88	32,99	32,14	31,33	30,57	29,84
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	117,51	117,19	116,93	116,73	116,59	116,49	116,45	116,44	116,47	116,54
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	55,00	55,80	56,60	57,40	58,20	59,00	59,80	60,60	61,40	62,20
NPV ogrevanja	38,00	36,88	35,82	34,83	33,88	32,99	32,14	31,33	30,57	29,84
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	118,51	118,19	117,93	117,73	117,59	117,49	117,45	117,44	117,47	117,54
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	69,00	70,50	72,00	73,50	75,00	76,50	78,00	79,50	81,00	82,50
NPV ogrevanja	38,00	36,88	35,82	34,83	33,88	32,99	32,14	31,33	30,57	29,84
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	132,51	132,89	133,33	133,83	134,39	134,99	135,65	136,34	137,07	137,84
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	68,50	69,65	70,80	71,95	73,10	74,25	75,40	76,55	77,70	78,85
NPV ogrevanja	38,00	36,88	35,82	34,83	33,88	32,99	32,14	31,33	30,57	29,84
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	132,01	132,04	132,13	132,28	132,49	132,74	133,05	133,39	133,77	134,19
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	72,50	73,30	74,10	74,90	75,70	76,50	77,30	78,10	78,90	79,70
NPV ogrevanja	38,00	36,88	35,82	34,83	33,88	32,99	32,14	31,33	30,57	29,84
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	136,01	135,69	135,43	135,23	135,09	134,99	134,95	134,94	134,97	135,04

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,20 €/kWh)

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	58,00	58,80	59,60	60,40	61,20	62,00	62,80	63,60	64,40	65,20
NPV ogrevanja	43,98	42,85	41,78	40,75	39,78	38,85	37,97	37,12	36,31	35,54
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	127,49	127,16	126,88	126,66	126,49	126,36	126,27	126,23	126,22	126,25
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	59,00	59,80	60,60	61,40	62,20	63,00	63,80	64,60	65,40	66,20
NPV ogrevanja	43,98	42,85	41,78	40,75	39,78	38,85	37,97	37,12	36,31	35,54
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	128,49	128,16	127,88	127,66	127,49	127,36	127,27	127,23	127,22	127,25
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	76,50	78,00	79,50	81,00	82,50	84,00	85,50	87,00	88,50	90,00
NPV ogrevanja	43,98	42,85	41,78	40,75	39,78	38,85	37,97	37,12	36,31	35,54
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	145,99	146,36	146,78	147,26	147,79	148,36	148,97	149,63	150,32	151,05
Duo – kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	74,25	75,40	76,55	77,70	78,85	80,00	81,15	82,30	83,45	84,60
NPV ogrevanja	43,98	42,85	41,78	40,75	39,78	38,85	37,97	37,12	36,31	35,54
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	143,74	143,76	143,83	143,96	144,14	144,36	144,62	144,93	145,27	145,65
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	76,50	77,30	78,10	78,90	79,70	80,50	81,30	82,10	82,90	83,70
NPV ogrevanja	43,98	42,85	41,78	40,75	39,78	38,85	37,97	37,12	36,31	35,54
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	145,99	145,66	145,38	145,16	144,99	144,86	144,77	144,73	144,72	144,75

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,30 €/kWh)

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	65,20	66,00	66,80	67,60	68,40	69,20	70,00	70,80	71,60	72,40
NPV ogrevanja	53,31	52,19	51,13	50,10	49,12	48,17	47,26	46,38	45,54	44,72
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	144,01	143,70	143,43	143,21	143,02	142,88	142,76	142,69	142,64	142,63
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	66,20	67,00	67,80	68,60	69,40	70,20	71,00	71,80	72,60	73,40
NPV ogrevanja	53,31	52,19	51,13	50,10	49,12	48,17	47,26	46,38	45,54	44,72
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	145,01	144,70	144,43	144,21	144,02	143,88	143,76	143,69	143,64	143,63
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	90,00	91,50	93,00	94,50	96,00	97,50	99,00	100,50	102,00	103,50
NPV ogrevanja	53,31	52,19	51,13	50,10	49,12	48,17	47,26	46,38	45,54	44,72
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	168,81	169,20	169,63	170,11	170,62	171,18	171,76	172,39	173,04	173,73
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	84,60	85,75	86,90	88,05	89,20	90,35	91,50	92,65	93,80	94,95
NPV ogrevanja	53,31	52,19	51,13	50,10	49,12	48,17	47,26	46,38	45,54	44,72
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	163,41	163,45	163,53	163,66	163,82	164,03	164,26	164,54	164,84	165,18
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	83,70	84,50	85,30	86,10	86,90	87,70	88,50	89,30	90,10	90,90
NPV ogrevanja	53,31	52,19	51,13	50,10	49,12	48,17	47,26	46,38	45,54	44,72
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	162,51	162,20	161,93	161,71	161,52	161,38	161,26	161,19	161,14	161,13

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), padec cene toplotnih izolacij za 50%

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	44,40	44,80	45,20	45,60	46,00	46,40	46,80	47,20	47,60	48,00
NPV ogrevanja	17,14	16,71	16,30	15,91	15,54	15,19	14,85	14,52	14,22	13,92
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	87,05	87,02	87,01	87,02	87,05	87,09	87,16	87,23	87,32	87,43
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	45,40	45,80	46,20	46,60	47,00	47,40	47,80	48,20	48,60	49,00
NPV ogrevanja	17,14	16,71	16,30	15,91	15,54	15,19	14,85	14,52	14,22	13,92
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	88,05	88,02	88,01	88,02	88,05	88,09	88,16	88,23	88,32	88,43
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	51,00	51,75	52,50	53,25	54,00	54,75	55,50	56,25	57,00	57,75
NPV ogrevanja	17,14	16,71	16,30	15,91	15,54	15,19	14,85	14,52	14,22	13,92
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	93,65	93,97	94,31	94,67	95,05	95,44	95,86	96,28	96,72	97,18
Duo – kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	54,70	55,28	55,85	56,43	57,00	57,58	58,15	58,73	59,30	59,88
NPV ogrevanja	17,14	16,71	16,30	15,91	15,54	15,19	14,85	14,52	14,22	13,92
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	97,35	97,49	97,66	97,84	98,05	98,27	98,51	98,76	99,02	99,30
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	62,90	63,30	63,70	64,10	64,50	64,90	65,30	65,70	66,10	66,50
NPV ogrevanja	17,14	16,71	16,30	15,91	15,54	15,19	14,85	14,52	14,22	13,92
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	105,55	105,52	105,51	105,52	105,55	105,59	105,66	105,73	105,82	105,93

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), padec cene toplotnih izolacij za 25 %

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	45,60	46,20	46,80	47,40	48,00	48,60	49,20	49,80	50,40	51,00
NPV ogrevanja	23,08	22,30	21,58	20,90	20,27	19,67	19,11	18,57	18,07	17,59
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	94,18	94,01	93,89	93,81	93,78	93,78	93,81	93,88	93,98	94,10
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	46,60	47,20	47,80	48,40	49,00	49,60	50,20	50,80	51,40	52,00
NPV ogrevanja	23,08	22,30	21,58	20,90	20,27	19,67	19,11	18,57	18,07	17,59
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	95,18	95,01	94,89	94,81	94,78	94,78	94,81	94,88	94,98	95,10
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	53,25	54,38	55,50	56,63	57,75	58,88	60,00	61,13	62,25	63,38
NPV ogrevanja	23,08	22,30	21,58	20,90	20,27	19,67	19,11	18,57	18,07	17,59
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	101,83	102,19	102,59	103,04	103,53	104,05	104,61	105,21	105,83	106,48
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	56,43	57,29	58,15	59,01	59,88	60,74	61,60	62,46	63,33	64,19
NPV ogrevanja	23,08	22,30	21,58	20,90	20,27	19,67	19,11	18,57	18,07	17,59
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	105,01	105,10	105,24	105,42	105,65	105,92	106,21	106,54	106,90	107,29
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	64,10	64,70	65,30	65,90	66,50	67,10	67,70	68,30	68,90	69,50
NPV ogrevanja	23,08	22,30	21,58	20,90	20,27	19,67	19,11	18,57	18,07	17,59
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	112,68	112,51	112,39	112,31	112,28	112,28	112,31	112,38	112,48	112,60

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), porast cene toplotnih izolacij za 25%

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	46,00	47,00	48,00	49,00	50,00	51,00	52,00	53,00	54,00	55,00
NPV ogrevanja	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	106,81	106,03	105,43	104,97	104,64	104,42	104,29	104,26	104,30	104,41
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	47,00	48,00	49,00	50,00	51,00	52,00	53,00	54,00	55,00	56,00
NPV ogrevanja	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	107,81	107,03	106,43	105,97	105,64	105,42	105,29	105,26	105,30	105,41
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	54,00	55,88	57,75	59,63	61,50	63,38	65,25	67,13	69,00	70,88
NPV ogrevanja	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	114,81	114,91	115,18	115,59	116,14	116,79	117,54	118,38	119,30	120,29
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	57,00	58,44	59,88	61,31	62,75	64,19	65,63	67,06	68,50	69,94
NPV ogrevanja	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	117,81	117,47	117,30	117,28	117,39	117,60	117,92	118,32	118,80	119,35
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	64,50	65,50	66,50	67,50	68,50	69,50	70,50	71,50	72,50	73,50
NPV ogrevanja	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91	26,79	25,75	24,79	23,90
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	125,31	124,53	123,93	123,47	123,14	122,92	122,79	122,76	122,80	122,91

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), porast cene toplotnih izolacij za 50%

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	44,40	45,60	46,80	48,00	49,20	50,40	51,60	52,80	54,00	55,20
NPV ogrevanja	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	114,70	113,08	111,79	110,78	110,01	109,43	109,03	108,77	108,64	108,62
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	45,40	46,60	47,80	49,00	50,20	51,40	52,60	53,80	55,00	56,20
NPV ogrevanja	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	115,70	114,08	112,79	111,78	111,01	110,43	110,03	109,77	109,64	109,62
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	51,00	53,25	55,50	57,75	60,00	62,25	64,50	66,75	69,00	71,25
NPV ogrevanja	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	121,30	120,73	120,49	120,53	120,81	121,28	121,93	122,72	123,64	124,67
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	54,70	56,43	58,15	59,88	61,60	63,33	65,05	66,78	68,50	70,23
NPV ogrevanja	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	125,00	123,91	123,14	122,66	122,41	122,36	122,48	122,74	123,14	123,64
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	62,90	64,10	65,30	66,50	67,70	68,90	70,10	71,30	72,50	73,70
NPV ogrevanja	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46	29,13	27,91
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	133,20	131,58	130,29	129,28	128,51	127,93	127,53	127,27	127,14	127,12

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), porast cene toplotnih izolacij za 100%

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	46,00	47,60	49,20	50,80	52,40	54,00	55,60	57,20	58,80	60,40
NPV ogrevanja	51,75	48,02	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	123,26	121,13	119,50	118,28	117,39	116,78	116,41	116,23	116,23	116,37
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	47,00	48,60	50,20	51,80	53,40	55,00	56,60	58,20	59,80	61,40
NPV ogrevanja	51,75	48,02	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	124,26	122,13	120,50	119,28	118,39	117,78	117,41	117,23	117,23	117,37
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	54,00	57,00	60,00	63,00	66,00	69,00	72,00	75,00	78,00	81,00
NPV ogrevanja	51,75	48,02	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	131,26	130,53	130,30	130,48	130,99	131,78	132,81	134,03	135,43	136,97
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	57,00	59,30	61,60	63,90	66,20	68,50	70,80	73,10	75,40	77,70
NPV ogrevanja	51,75	48,02	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	134,26	132,83	131,90	131,38	131,19	131,28	131,61	132,13	132,83	133,67
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	64,50	66,10	67,70	69,30	70,90	72,50	74,10	75,70	77,30	78,90
NPV ogrevanja	51,75	48,02	44,79	41,97	39,49	37,28	35,30	33,53	31,92	30,46
NPV vzdrževanja	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
NPV zamenjav	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20	17,20
NPV skupaj	141,76	139,63	138,00	136,78	135,89	135,28	134,91	134,73	134,73	134,87

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, diskontna stopnja 10%

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	34,00	38,00	42,00	46,00	50,00	54,00	58,00	62,00	66,00	70,00
NPV ogrevanja	35,30	19,89	13,83	10,61	8,59	7,20	6,25	5,49	4,93	4,42
NPV vzdrževanja	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
NPV zamenjav	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41
NPV skupaj	75,71	64,30	62,24	63,01	64,99	67,60	70,66	73,90	77,33	80,83
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	35,00	39,00	43,00	47,00	51,00	55,00	59,00	63,00	67,00	71,00
NPV ogrevanja	35,30	19,89	13,83	10,61	8,59	7,20	6,25	5,49	4,93	4,42
NPV vzdrževanja	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
NPV zamenjav	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41
NPV skupaj	76,71	65,30	63,24	64,01	65,99	68,60	71,66	74,90	78,33	81,83
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	31,50	39,00	46,50	54,00	61,50	69,00	76,50	84,00	91,50	99,00
NPV ogrevanja	35,30	19,89	13,83	10,61	8,59	7,20	6,25	5,49	4,93	4,42
NPV vzdrževanja	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
NPV zamenjav	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41
NPV skupaj	73,21	65,30	66,74	71,01	76,49	82,60	89,16	95,90	102,83	109,83
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	39,75	45,50	51,25	57,00	62,75	68,50	74,25	80,00	85,75	91,50
NPV ogrevanja	35,30	19,89	13,83	10,61	8,59	7,20	6,25	5,49	4,93	4,42
NPV vzdrževanja	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
NPV zamenjav	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41
NPV skupaj	81,46	71,80	71,49	74,01	77,74	82,10	86,91	91,90	97,08	102,33
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	52,50	56,50	60,50	64,50	68,50	72,50	76,50	80,50	84,50	88,50
NPV ogrevanja	35,30	19,89	13,83	10,61	8,59	7,20	6,25	5,49	4,93	4,42
NPV vzdrževanja	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
NPV zamenjav	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41
NPV skupaj	94,21	82,80	80,74	81,51	83,49	86,10	89,16	92,40	95,83	99,33

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), pričakovana življenjska doba 10 let

vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	36,40	37,20	38,00	38,80	39,60	40,40	41,20	42,00	42,80	43,60
NPV ogrevanja	18,88	17,29	15,95	14,80	13,81	12,94	12,17	11,49	10,88	10,33
NPV vzdrževanja	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	57,84	57,05	56,51	56,16	55,97	55,90	55,93	56,05	56,24	56,49
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	37,40	38,20	39,00	39,80	40,60	41,40	42,20	43,00	43,80	44,60
NPV ogrevanja	18,88	17,29	15,95	14,80	13,81	12,94	12,17	11,49	10,88	10,33
NPV vzdrževanja	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	58,84	58,05	57,51	57,16	56,97	56,90	56,93	57,05	57,24	57,49
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	36,00	37,50	39,00	40,50	42,00	43,50	45,00	46,50	48,00	49,50
NPV ogrevanja	18,88	17,29	15,95	14,80	13,81	12,94	12,17	11,49	10,88	10,33
NPV vzdrževanja	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	57,44	57,35	57,51	57,86	58,37	59,00	59,73	60,55	61,44	62,39
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	43,20	44,35	45,50	46,65	47,80	48,95	50,10	51,25	52,40	53,55
NPV ogrevanja	18,88	17,29	15,95	14,80	13,81	12,94	12,17	11,49	10,88	10,33
NPV vzdrževanja	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	64,64	64,20	64,01	64,01	64,17	64,45	64,83	65,30	65,84	66,44
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	54,90	55,70	56,50	57,30	58,10	58,90	59,70	60,50	61,30	62,10
NPV ogrevanja	18,88	17,29	15,95	14,80	13,81	12,94	12,17	11,49	10,88	10,33
NPV vzdrževanja	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	76,34	75,55	75,01	74,66	74,47	74,40	74,43	74,55	74,74	74,99

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), pričakovana življenjska doba 20 let

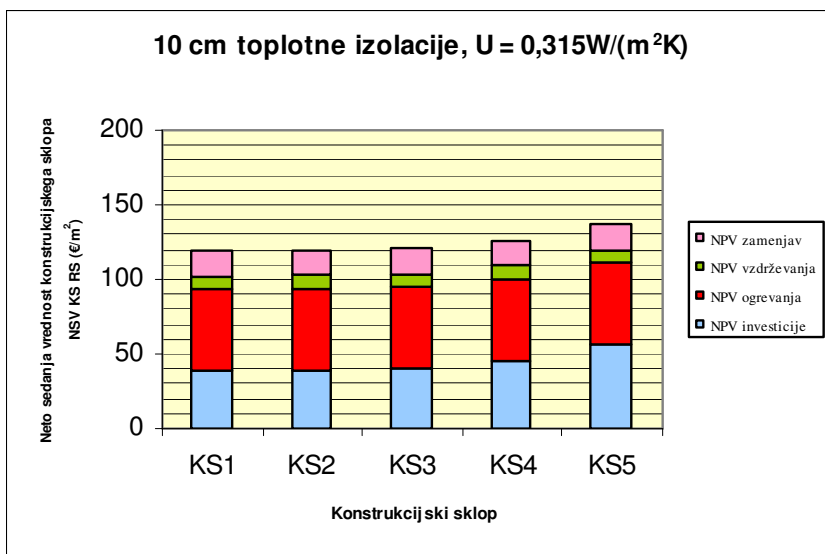
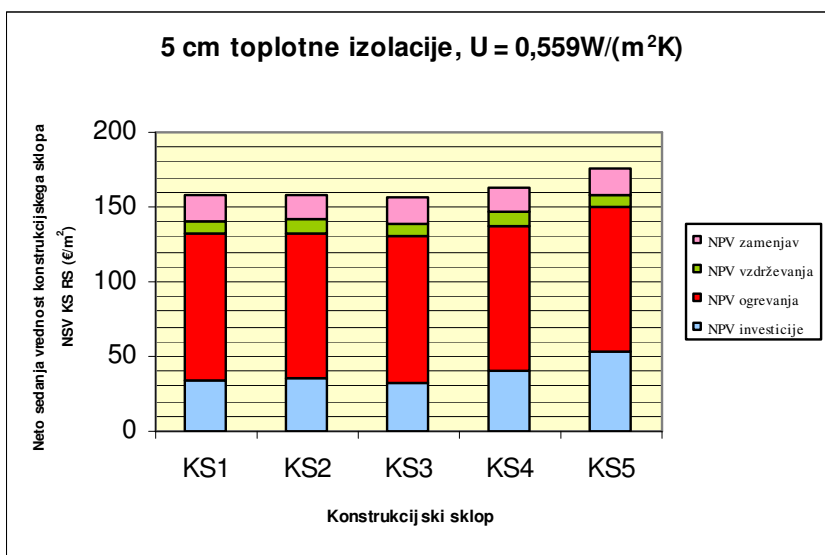
vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	38,80	39,60	40,40	41,20	42,00	42,80	43,60	44,40	45,20	46,00
NPV ogrevanja	25,82	24,08	22,56	21,23	20,04	18,98	18,02	17,16	16,37	15,66
NPV vzdrževanja	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	69,08	68,14	67,43	66,89	66,50	66,24	66,09	66,02	66,04	66,12
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	39,80	40,60	41,40	42,20	43,00	43,80	44,60	45,40	46,20	47,00
NPV ogrevanja	25,82	24,08	22,56	21,23	20,04	18,98	18,02	17,16	16,37	15,66
NPV vzdrževanja	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	70,08	69,14	68,43	67,89	67,50	67,24	67,09	67,02	67,04	67,12
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	40,50	42,00	43,50	45,00	46,50	48,00	49,50	51,00	52,50	54,00
NPV ogrevanja	25,82	24,08	22,56	21,23	20,04	18,98	18,02	17,16	16,37	15,66
NPV vzdrževanja	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	70,78	70,54	70,53	70,69	71,00	71,44	71,99	72,62	73,34	74,12
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	46,65	47,80	48,95	50,10	51,25	52,40	53,55	54,70	55,85	57,00
NPV ogrevanja	25,82	24,08	22,56	21,23	20,04	18,98	18,02	17,16	16,37	15,66
NPV vzdrževanja	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	76,93	76,34	75,98	75,79	75,75	75,84	76,04	76,32	76,69	77,12
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	57,30	58,10	58,90	59,70	60,50	61,30	62,10	62,90	63,70	64,50
NPV ogrevanja	25,82	24,08	22,56	21,23	20,04	18,98	18,02	17,16	16,37	15,66
NPV vzdrževanja	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46
NPV zamenjav	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPV skupaj	87,58	86,64	85,93	85,39	85,00	84,74	84,59	84,52	84,54	84,62

Računska ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), pričakovana življenjska doba 40 let

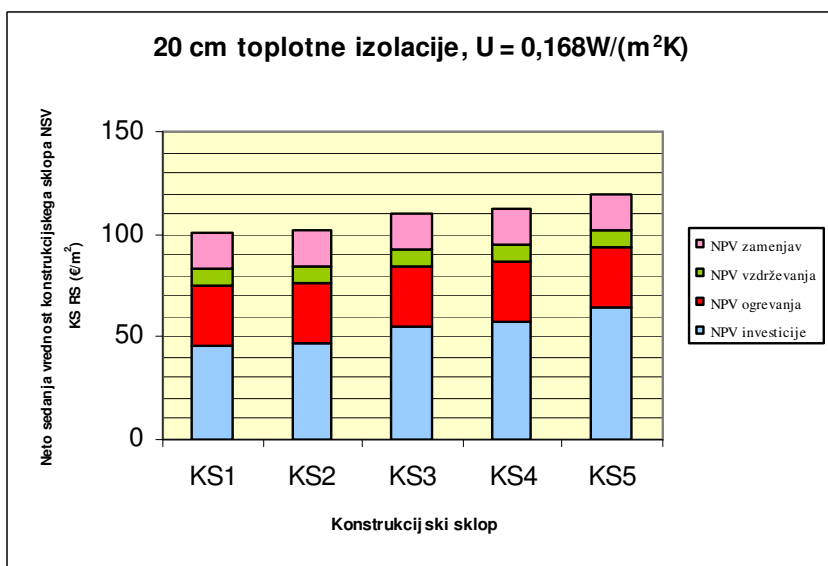
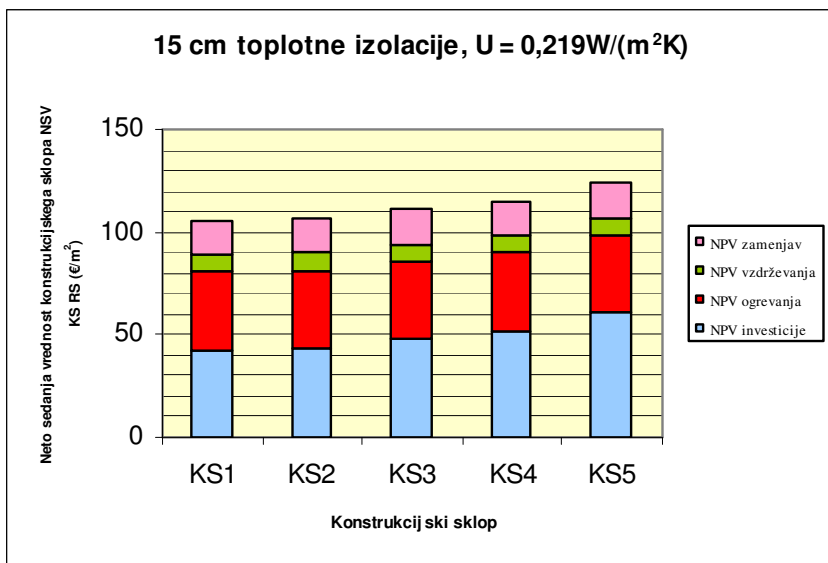
vrednotenje po konstrukcijskem sklopu										
(vse v €/m ²)	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Topla ravna streha, bitumenski trak z zaščitnim posipom (KS1)										
NPV investicije	42,80	43,60	44,40	45,20	46,00	46,80	47,60	48,40	49,20	50,00
NPV ogrevanja	29,48	28,00	26,66	25,44	24,33	23,31	22,37	21,51	20,71	19,96
NPV vzdrževanja	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
NPV zamenjav	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07
NPV skupaj	90,29	89,61	89,07	88,65	88,34	88,12	87,98	87,92	87,92	87,97
Topla ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS2)										
NPV investicije	43,80	44,60	45,40	46,20	47,00	47,80	48,60	49,40	50,20	51,00
NPV ogrevanja	29,48	28,00	26,66	25,44	24,33	23,31	22,37	21,51	20,71	19,96
NPV vzdrževanja	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
NPV zamenjav	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07
NPV skupaj	91,29	90,61	90,07	89,65	89,34	89,12	88,98	88,92	88,92	88,97
Obrnjena ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS3)										
NPV investicije	48,00	49,50	51,00	52,50	54,00	55,50	57,00	58,50	60,00	61,50
NPV ogrevanja	29,48	28,00	26,66	25,44	24,33	23,31	22,37	21,51	20,71	19,96
NPV vzdrževanja	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
NPV zamenjav	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07
NPV skupaj	95,49	95,51	95,67	95,95	96,34	96,82	97,38	98,02	98,72	99,47
Duo - kombinirana ravna streha, zaščita s pranim prodcem (KS4)										
NPV investicije	52,40	53,55	54,70	55,85	57,00	58,15	59,30	60,45	61,60	62,75
NPV ogrevanja	29,48	28,00	26,66	25,44	24,33	23,31	22,37	21,51	20,71	19,96
NPV vzdrževanja	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
NPV zamenjav	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07
NPV skupaj	99,89	99,56	99,37	99,30	99,34	99,47	99,68	99,97	100,32	100,72
Ozelenjena ravna streha, ekstenzivna ozelenitev (KS5)										
NPV investicije	61,30	62,10	62,90	63,70	64,50	65,30	66,10	66,90	67,70	68,50
NPV ogrevanja	29,48	28,00	26,66	25,44	24,33	23,31	22,37	21,51	20,71	19,96
NPV vzdrževanja	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
NPV zamenjav	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07	11,07
NPV skupaj	108,79	108,11	107,57	107,15	106,84	106,62	106,48	106,42	106,42	106,47

Priloga D: Primeri grafičnih ponazoritev rezultatov ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh

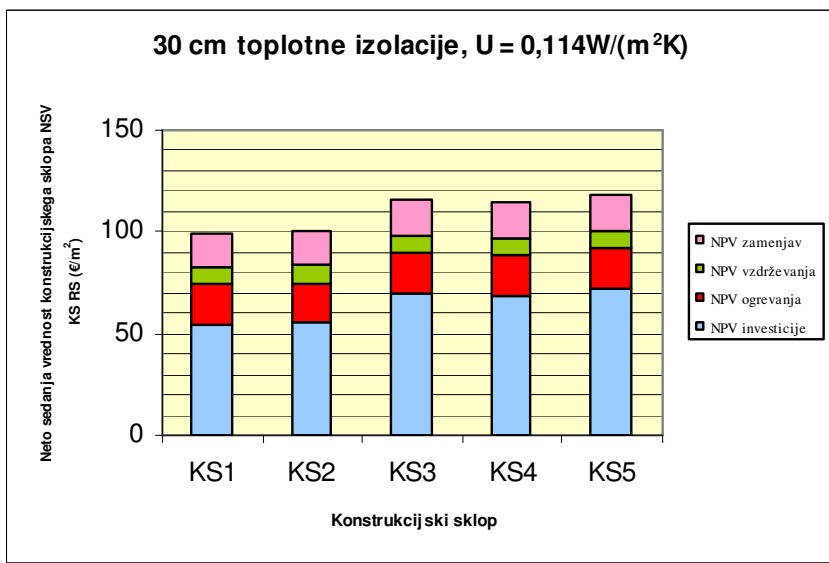
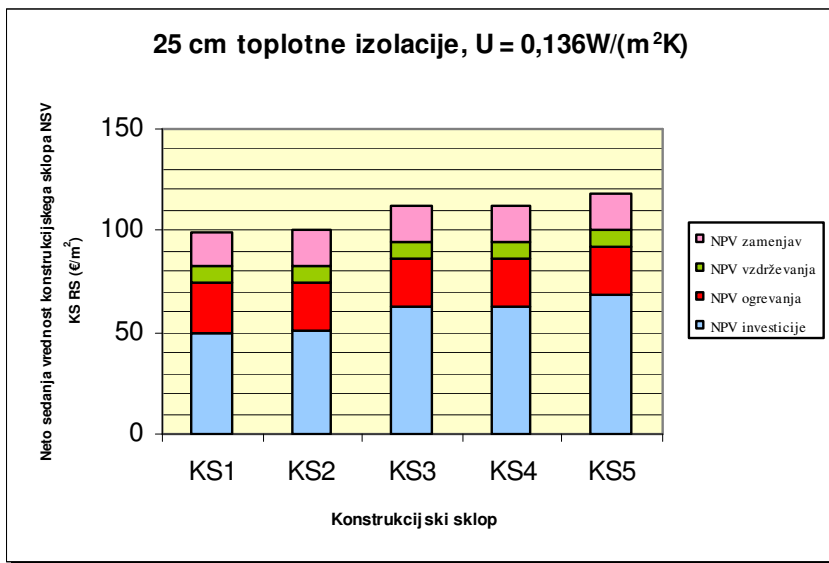
cena energije 0,08 €/kWh)



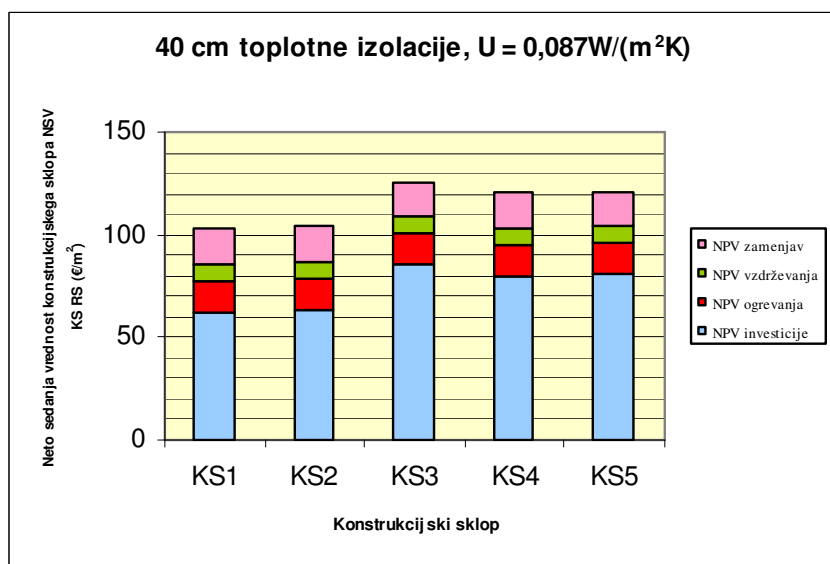
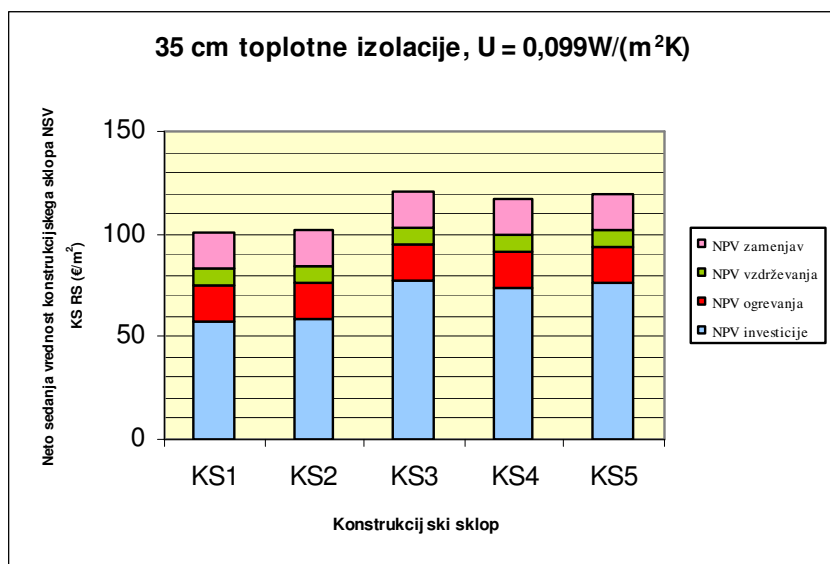
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh



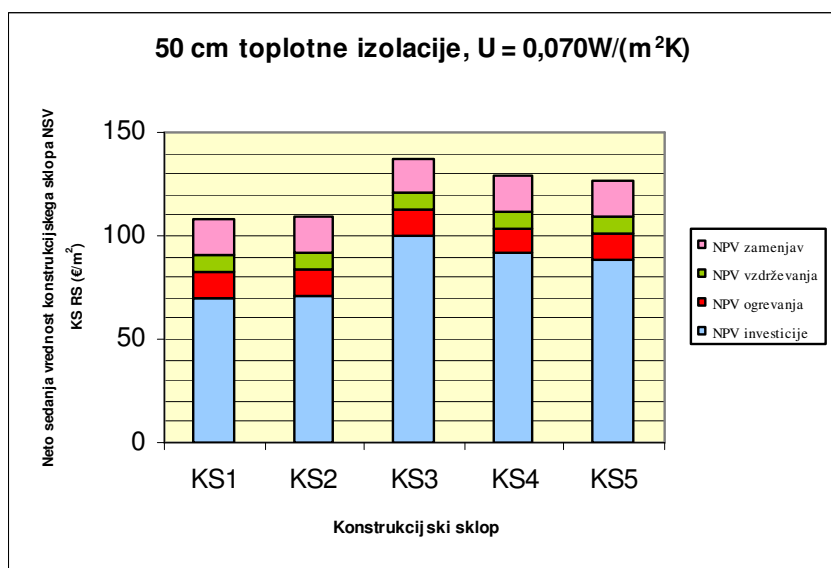
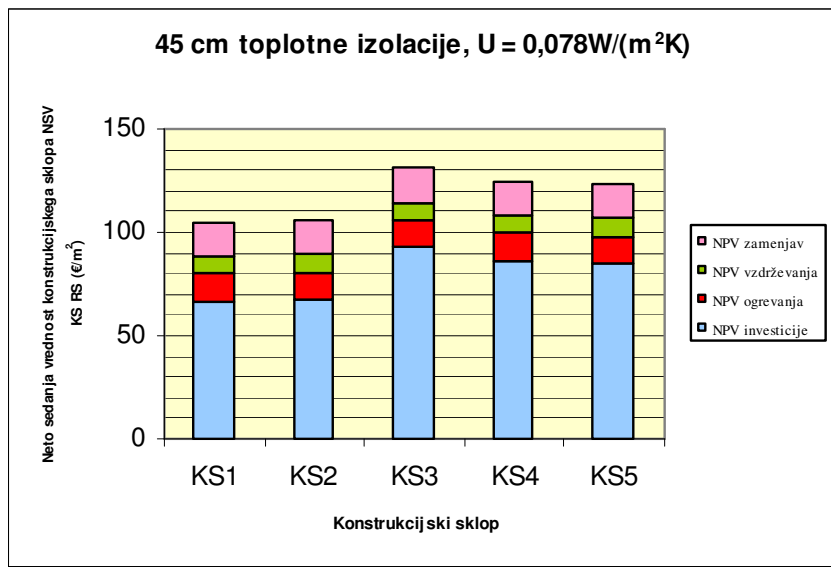
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh



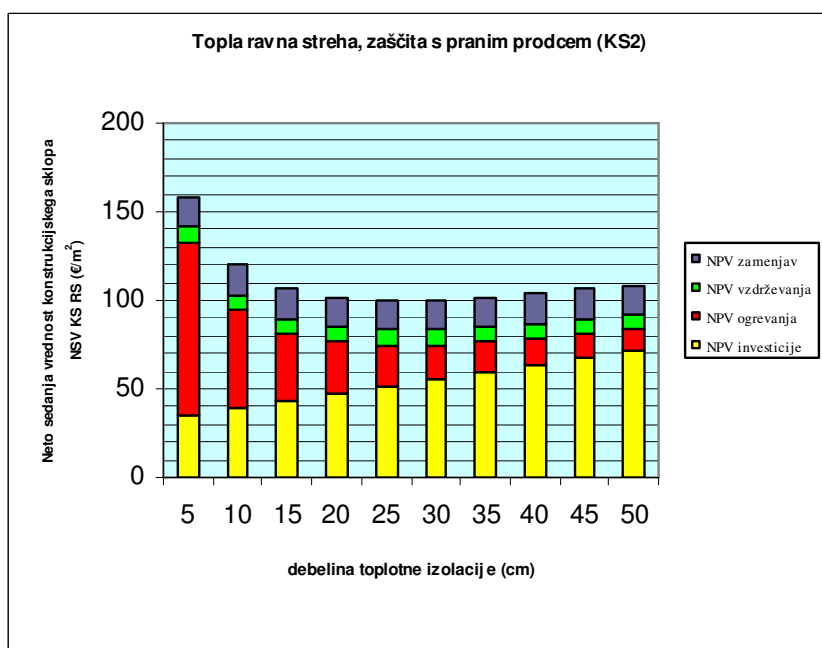
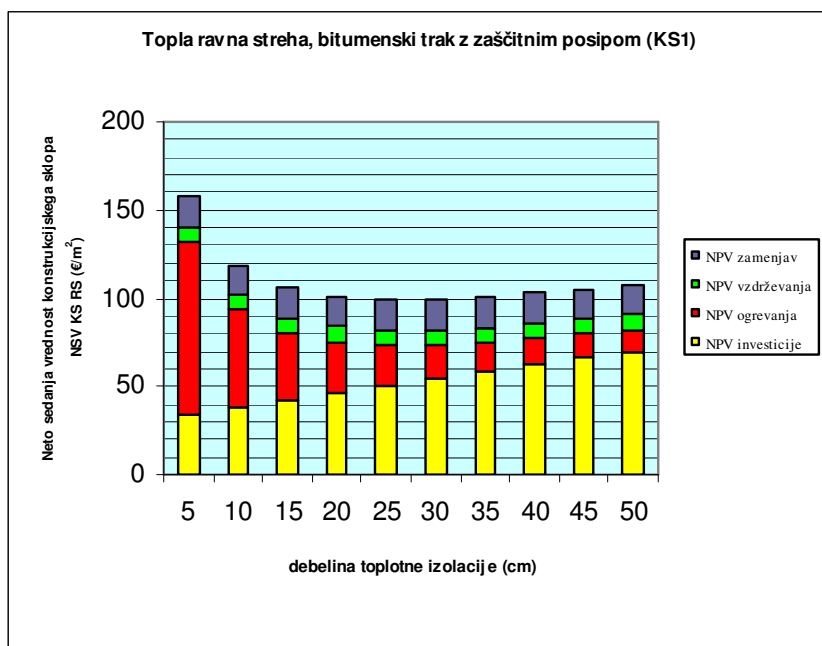
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh



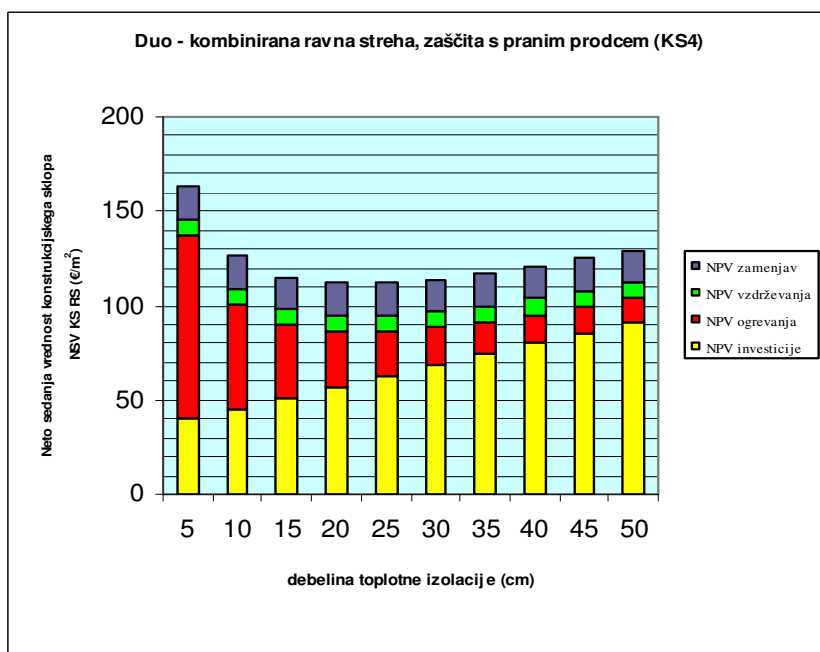
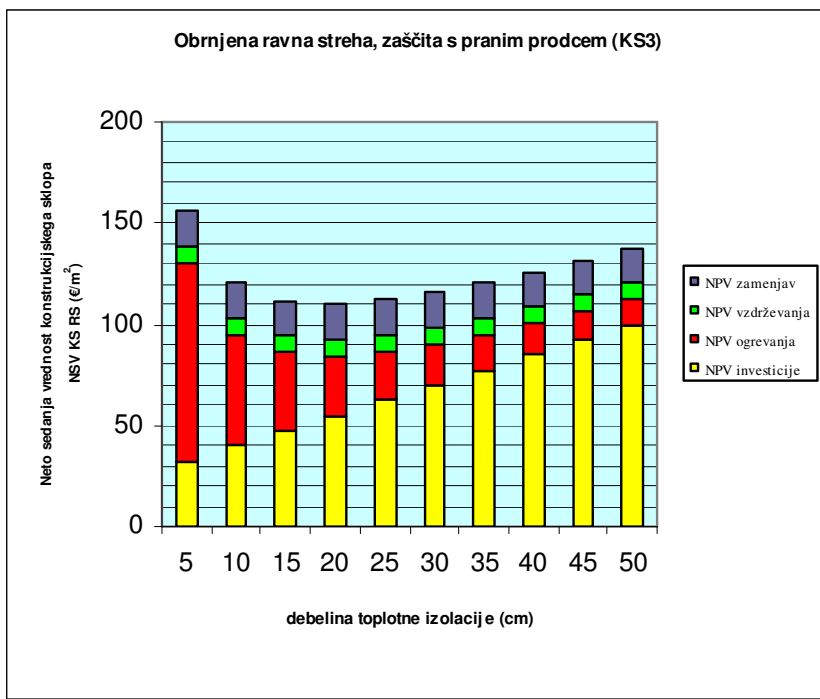
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh



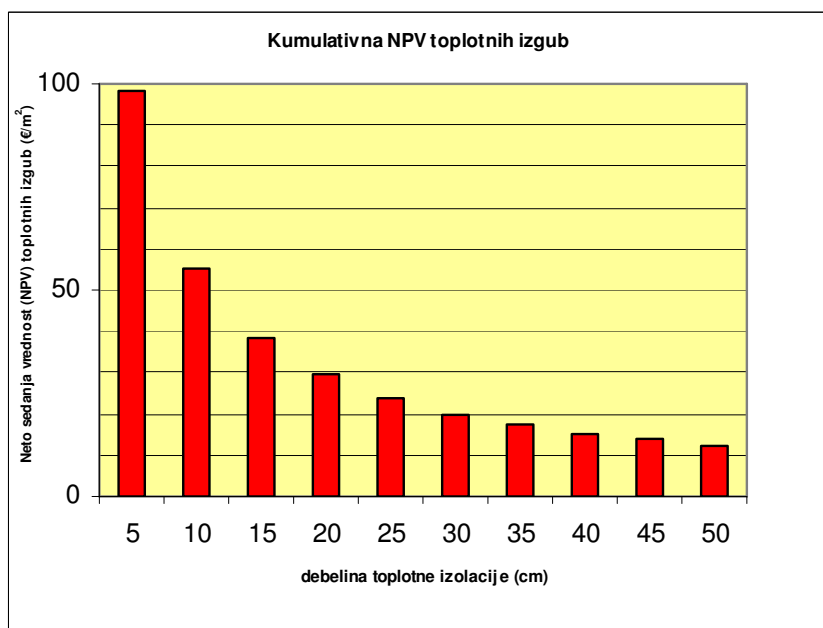
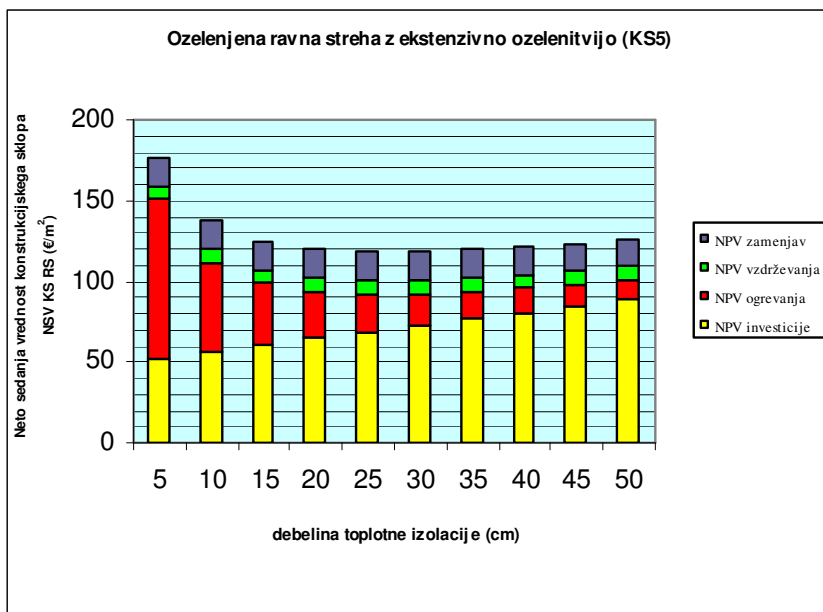
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh



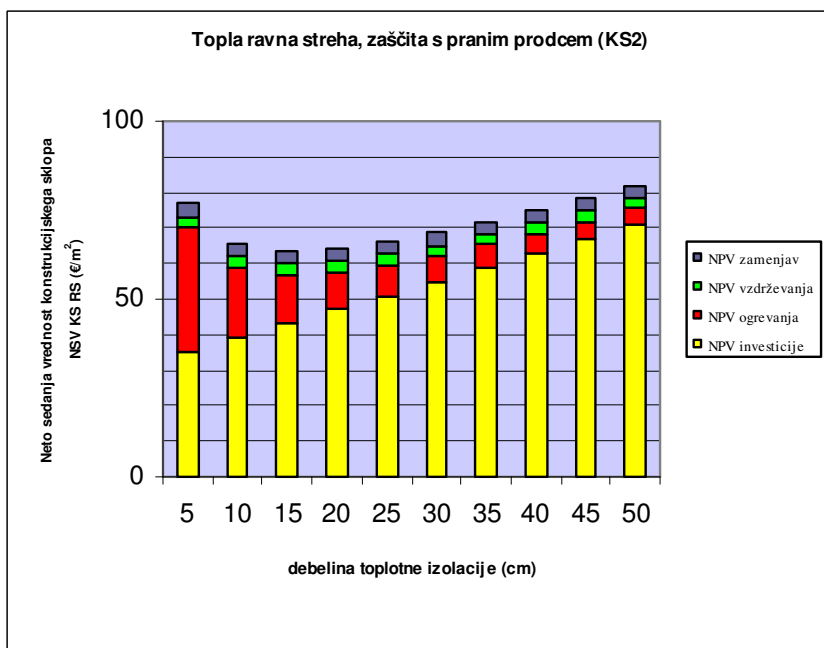
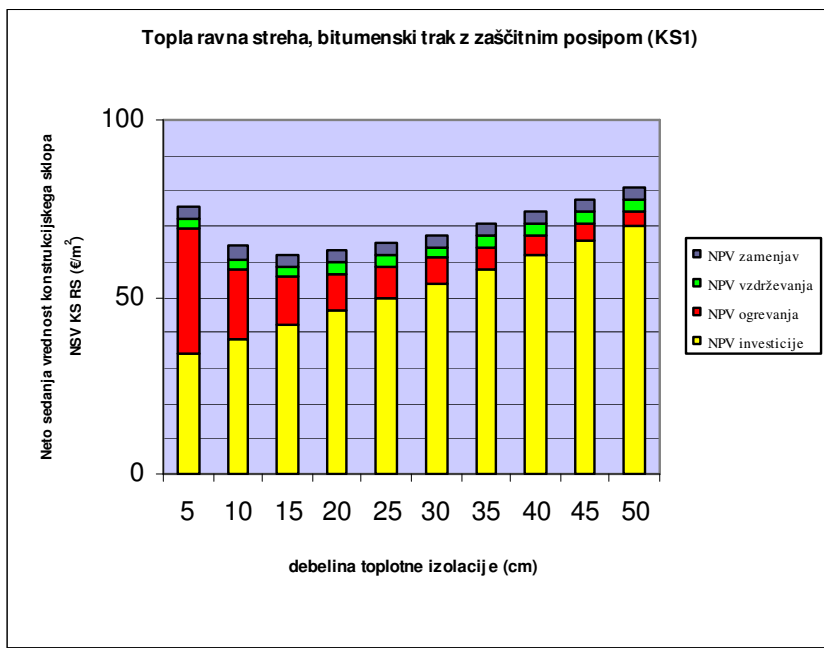
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh



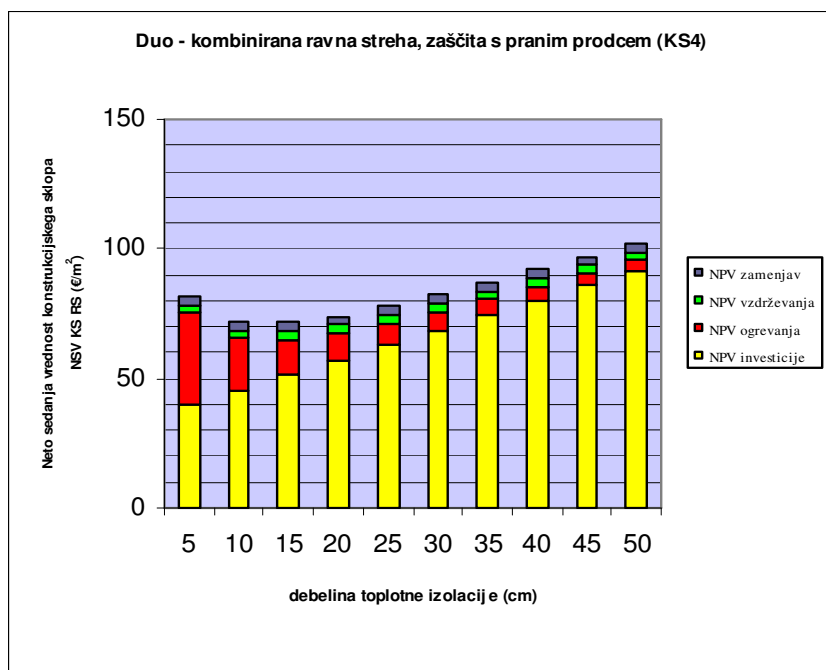
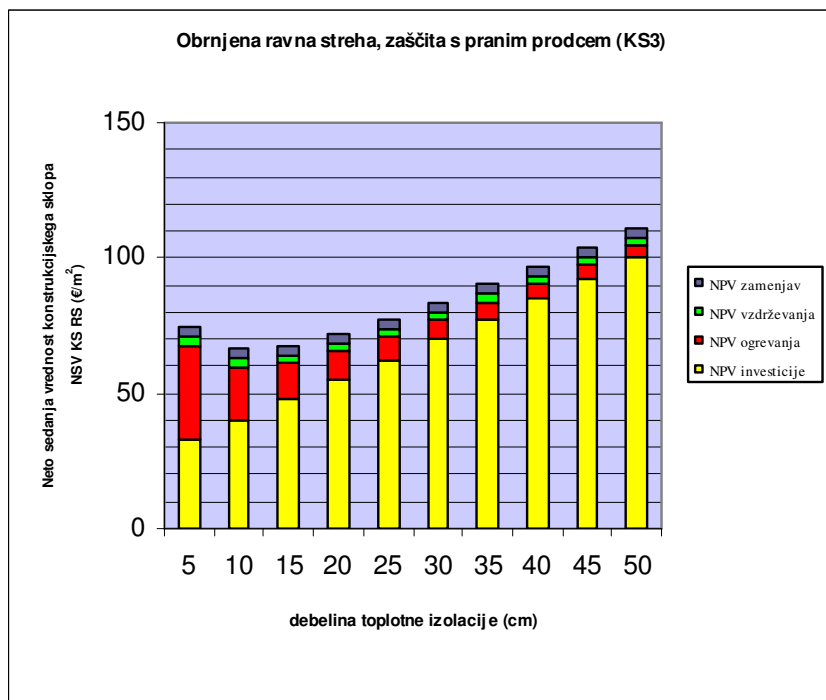
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh



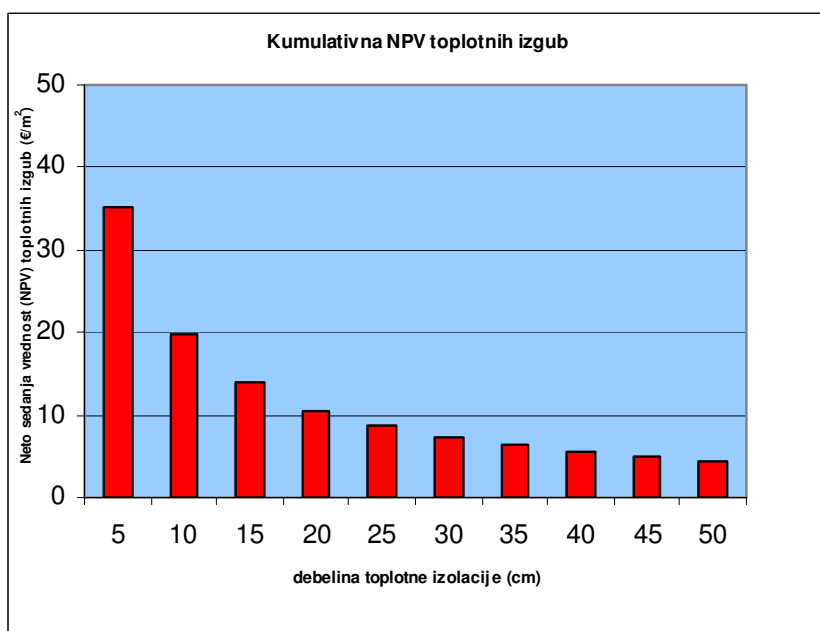
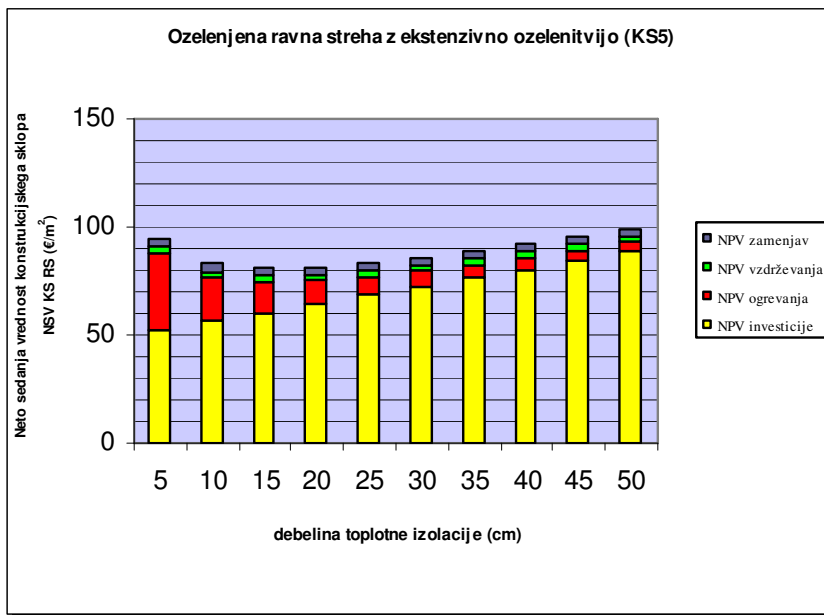
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, diskontna stopnja 10%



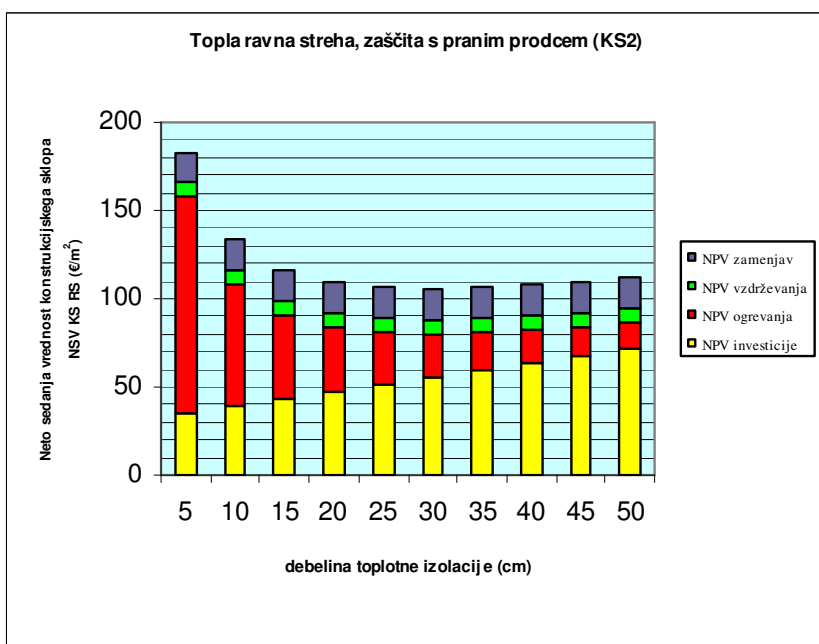
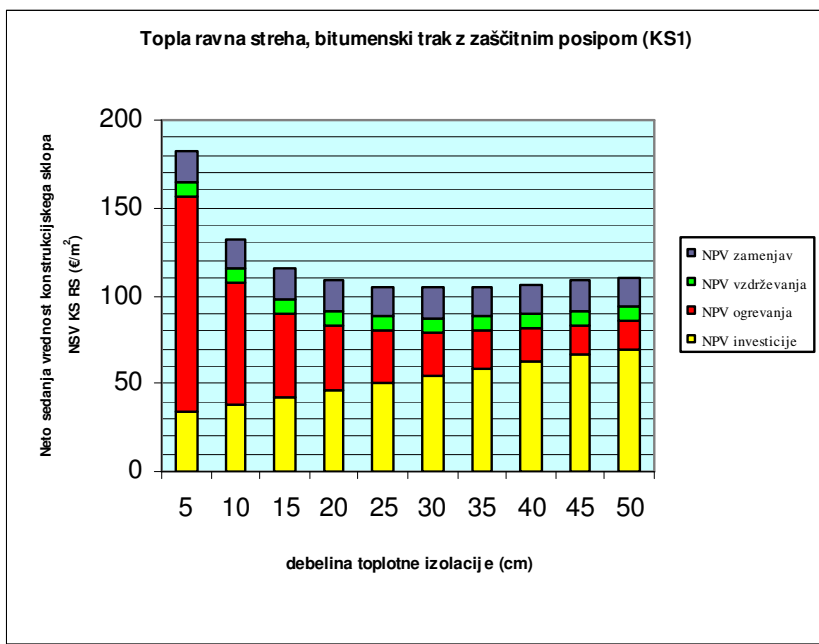
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, diskontna stopnja 10%



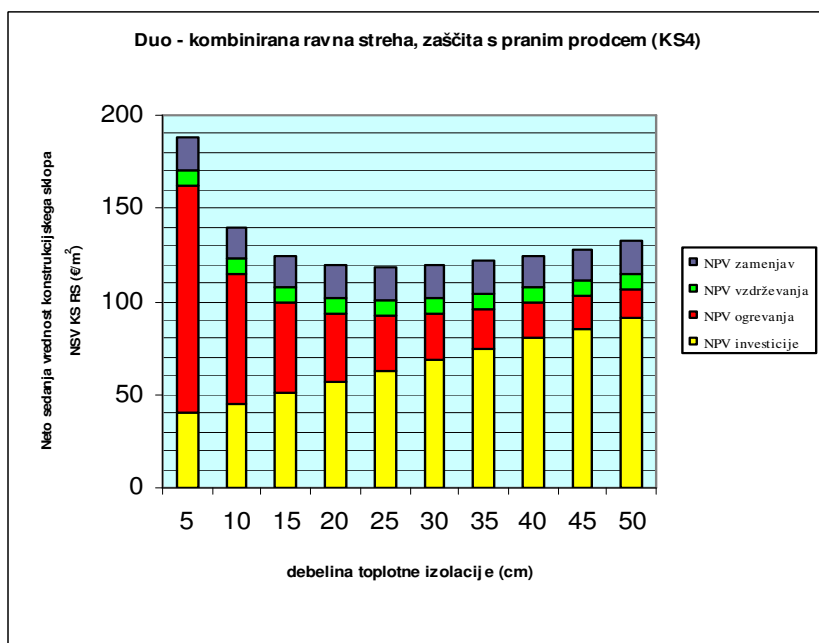
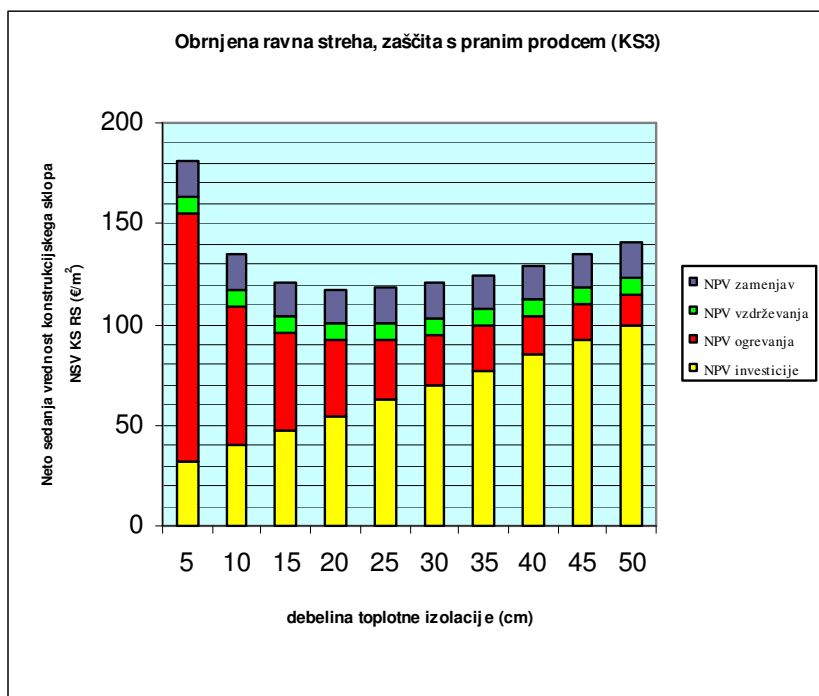
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, diskontna stopnja 10%



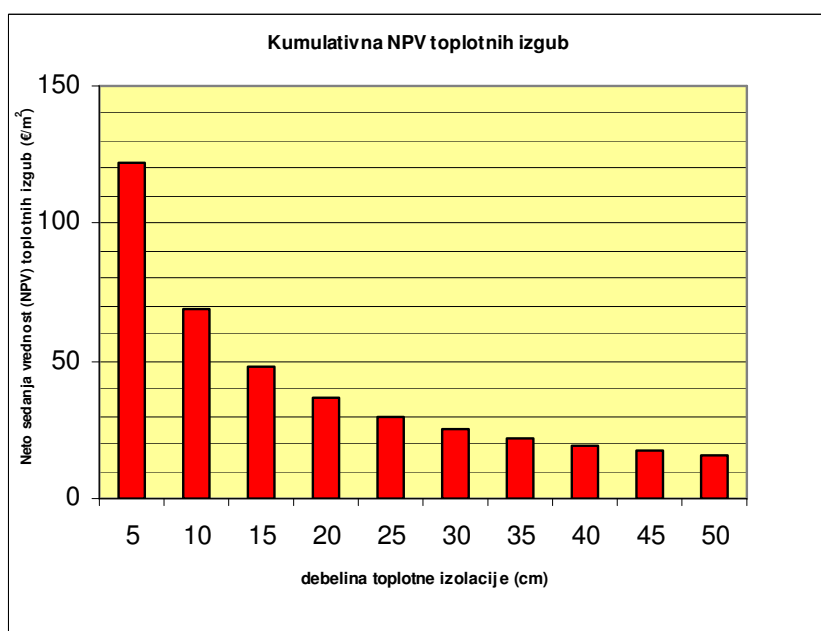
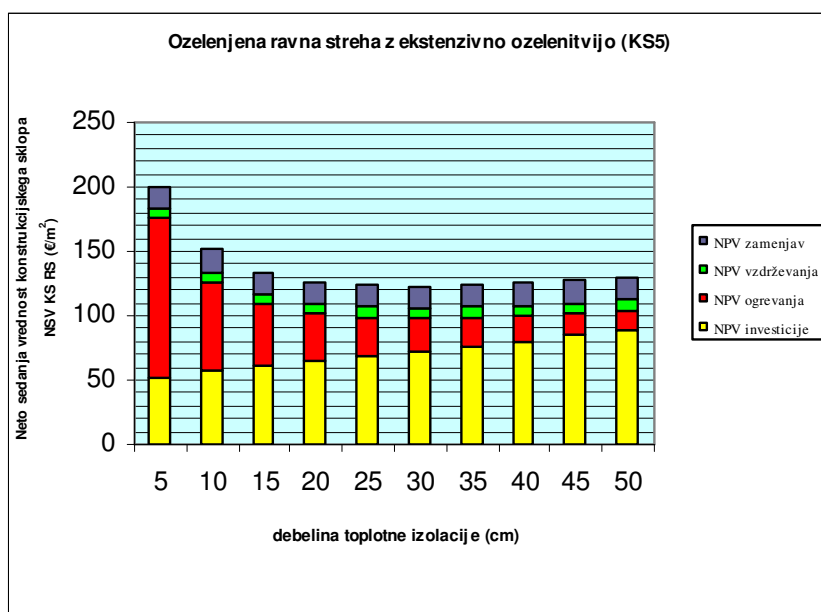
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,10 €/kWh



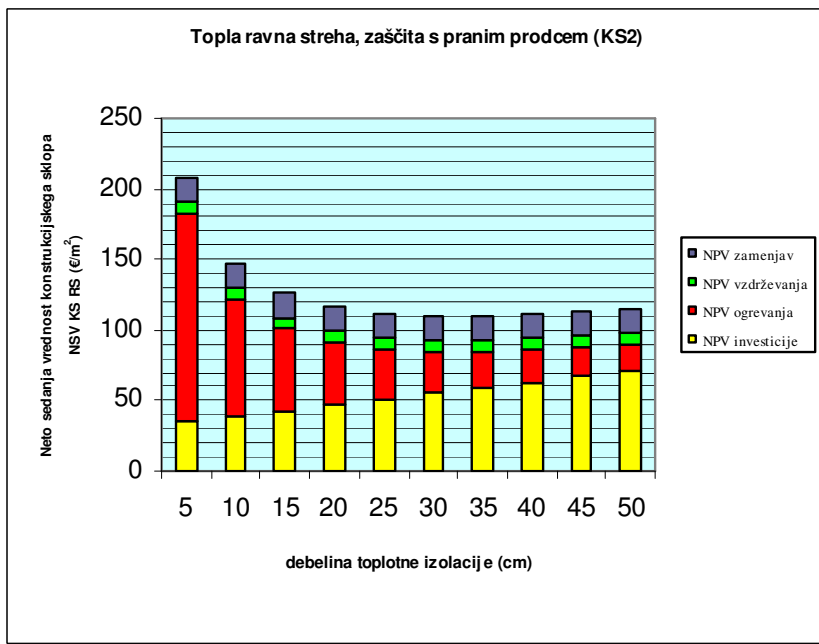
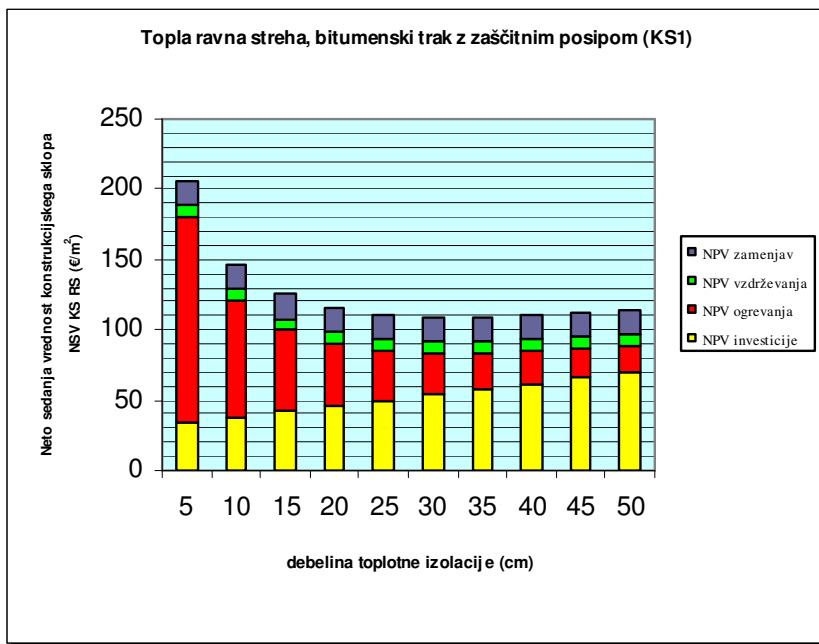
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,10 €/kWh



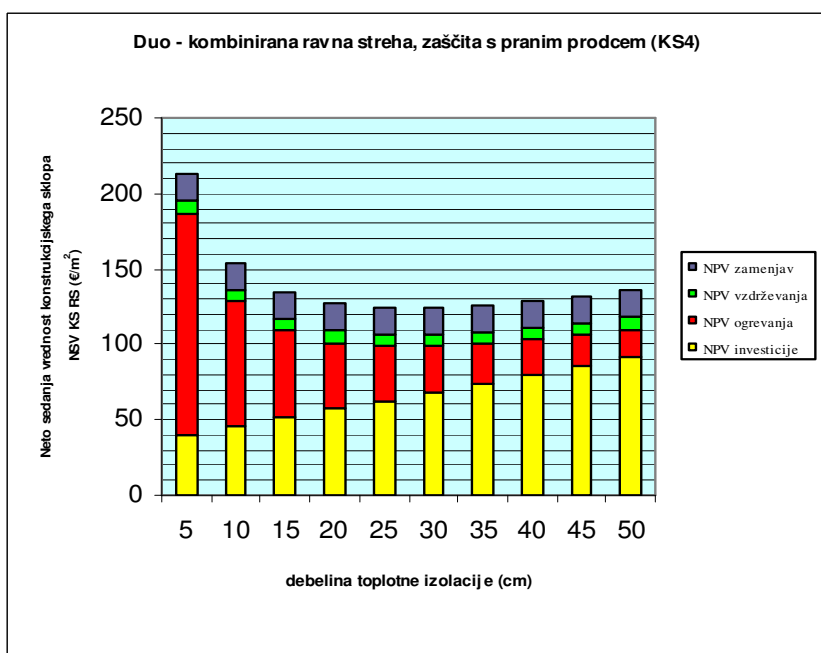
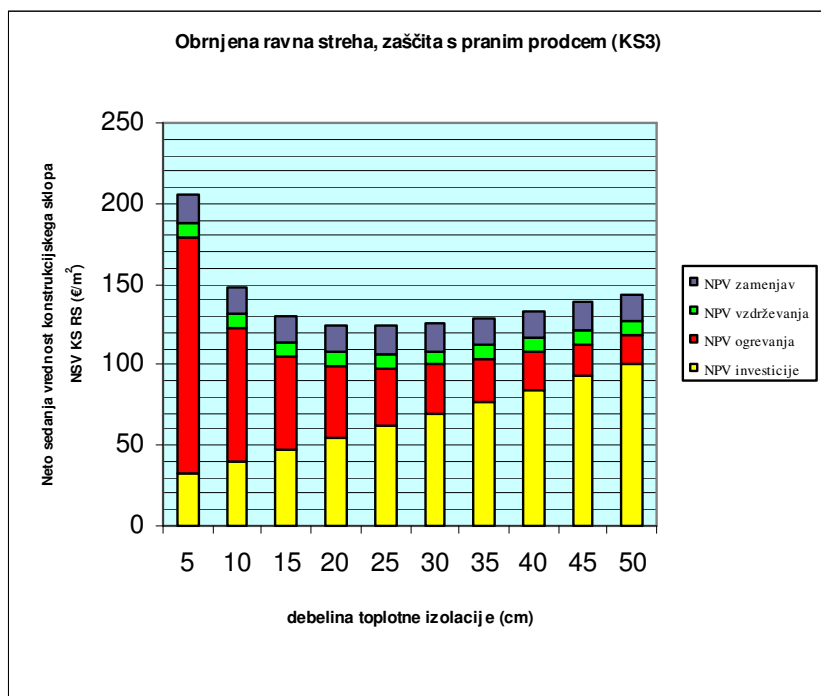
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,10 €/kWh



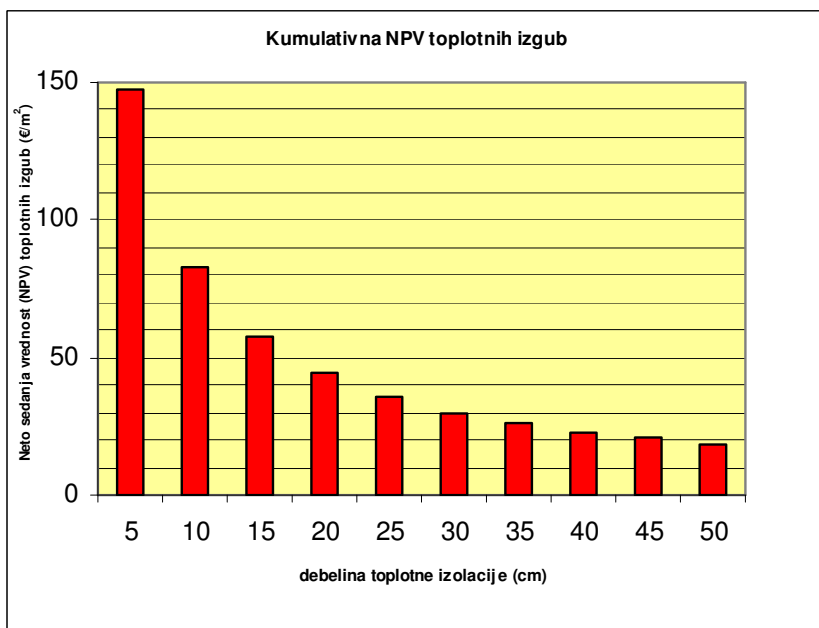
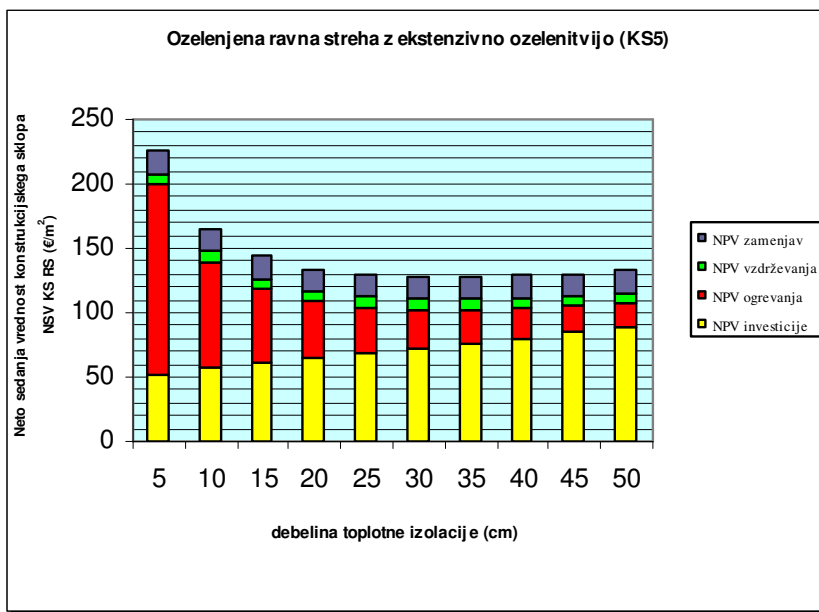
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,12€/kWh



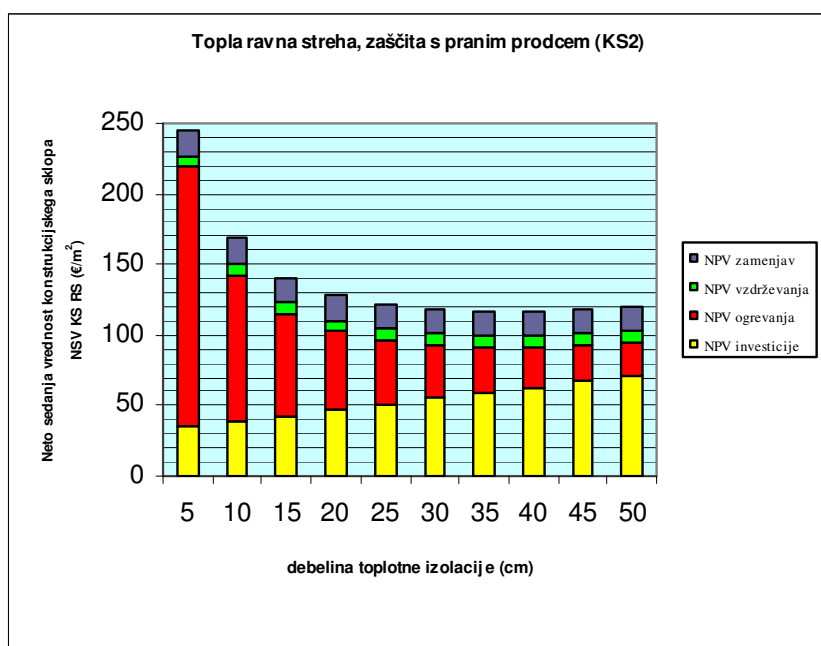
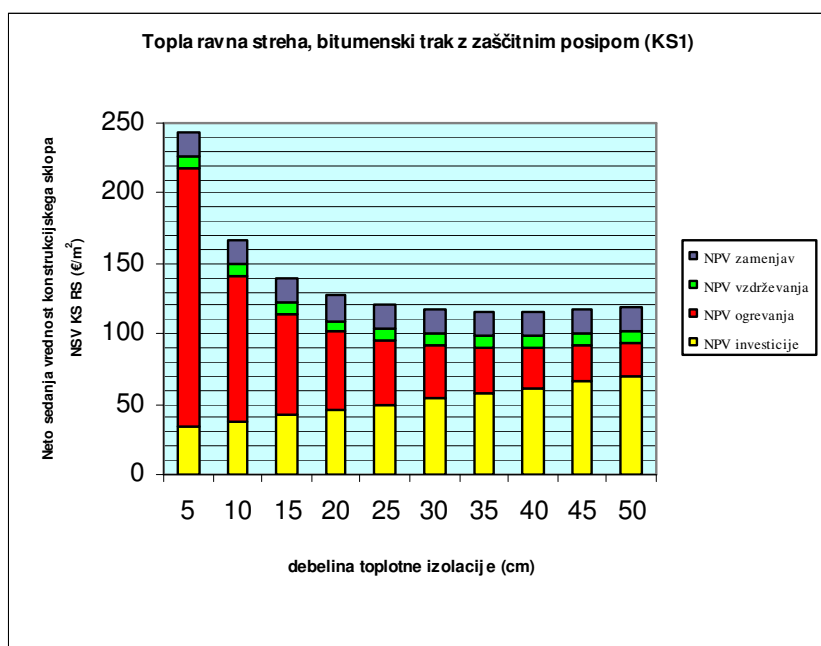
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,12€/kWh



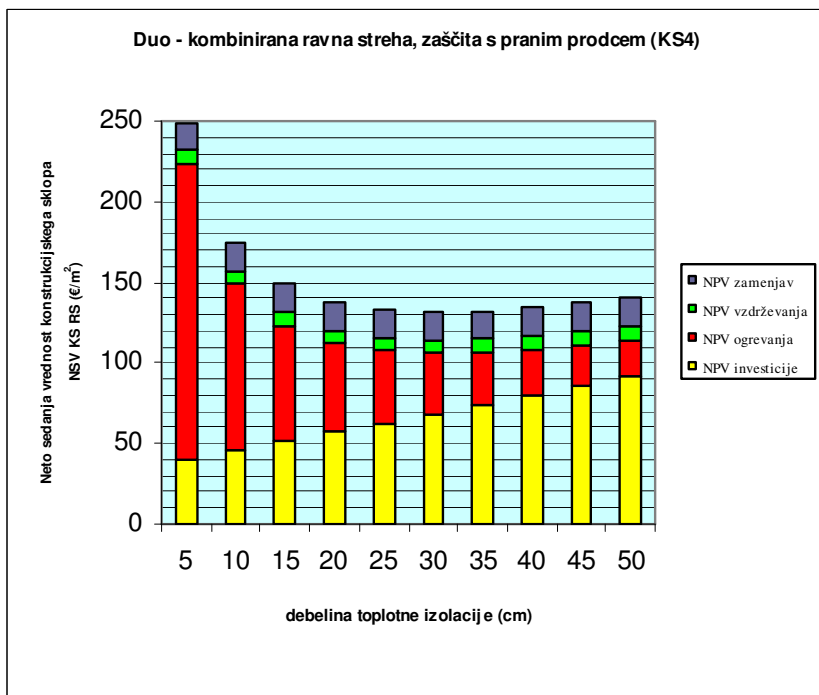
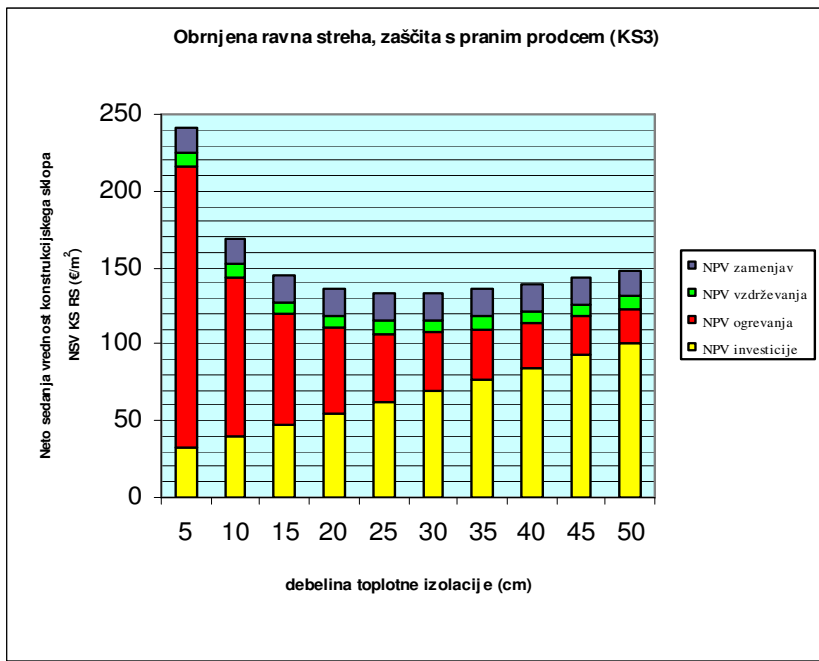
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,12€/kWh



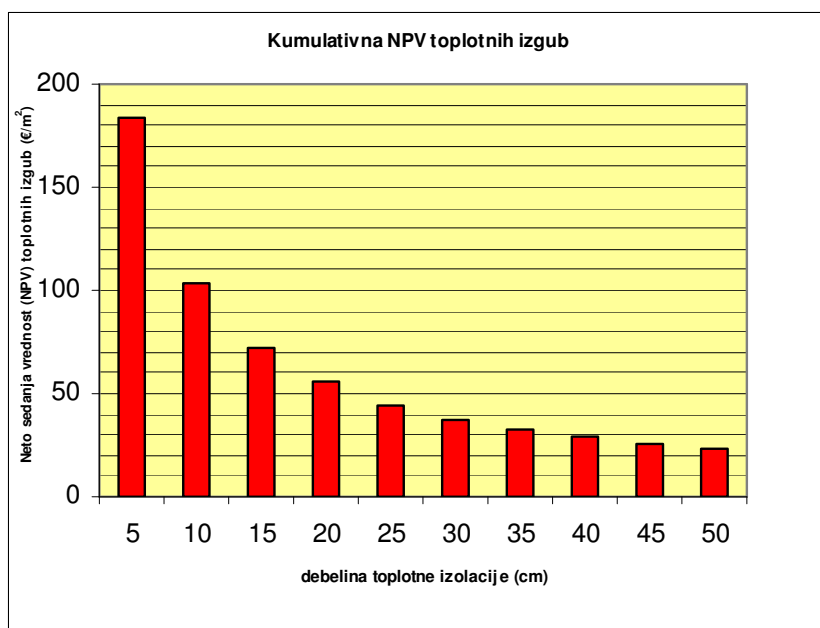
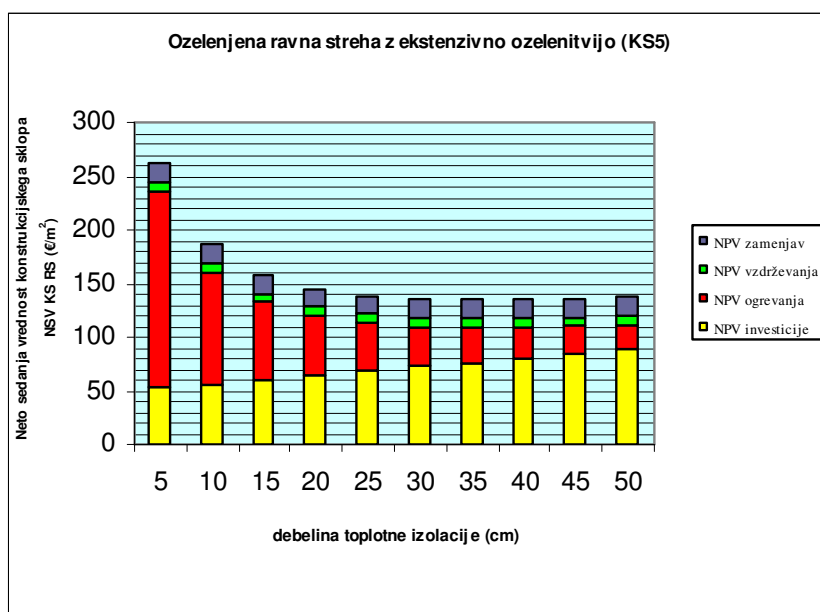
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,15€/kWh



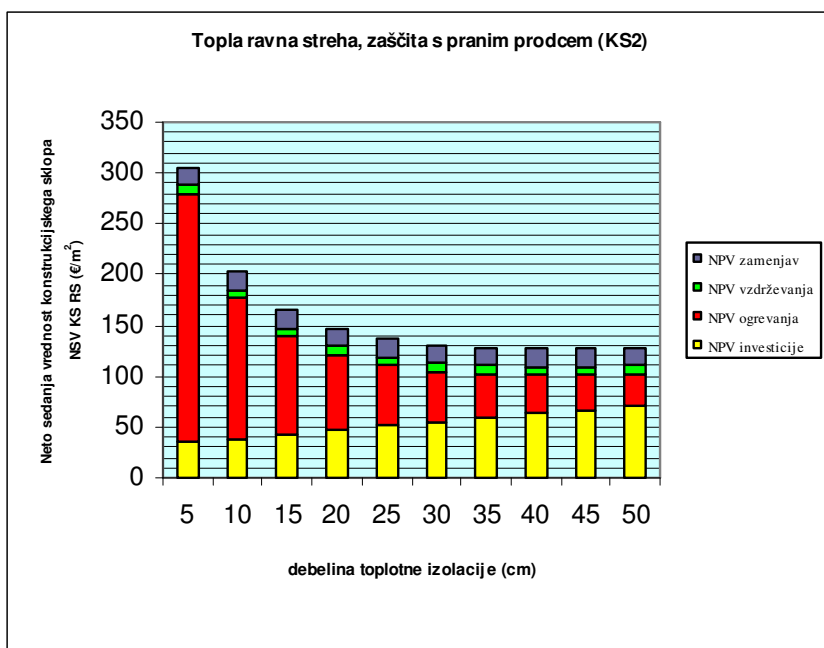
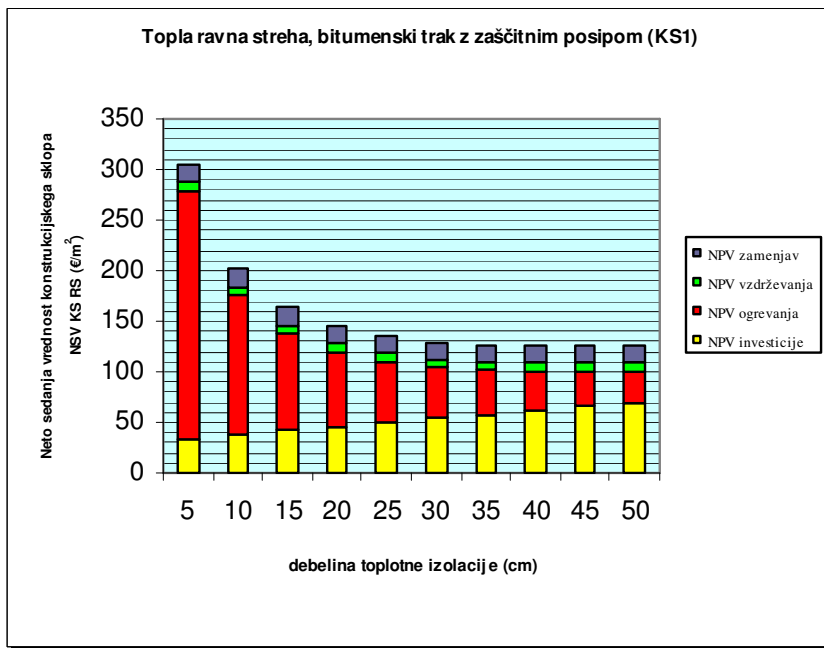
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,15€/kWh



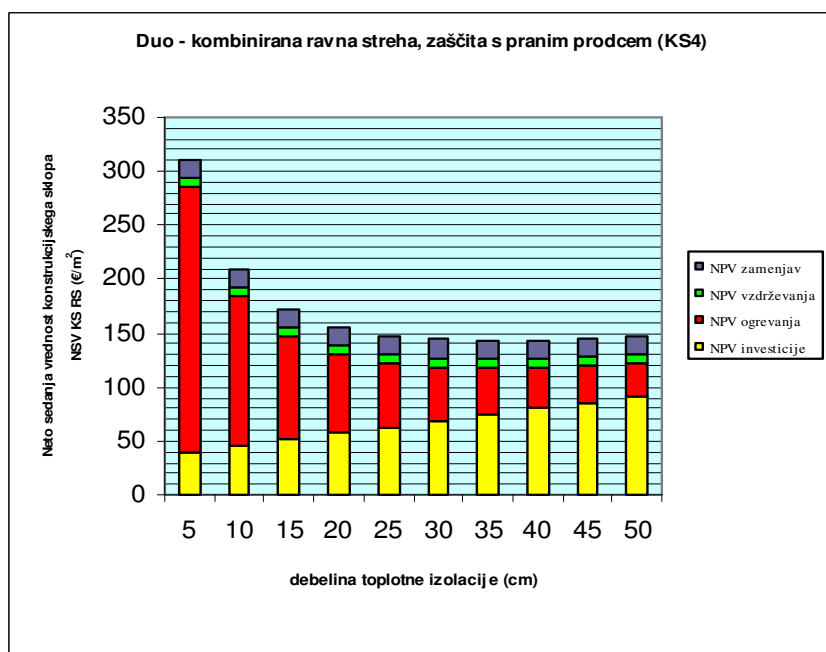
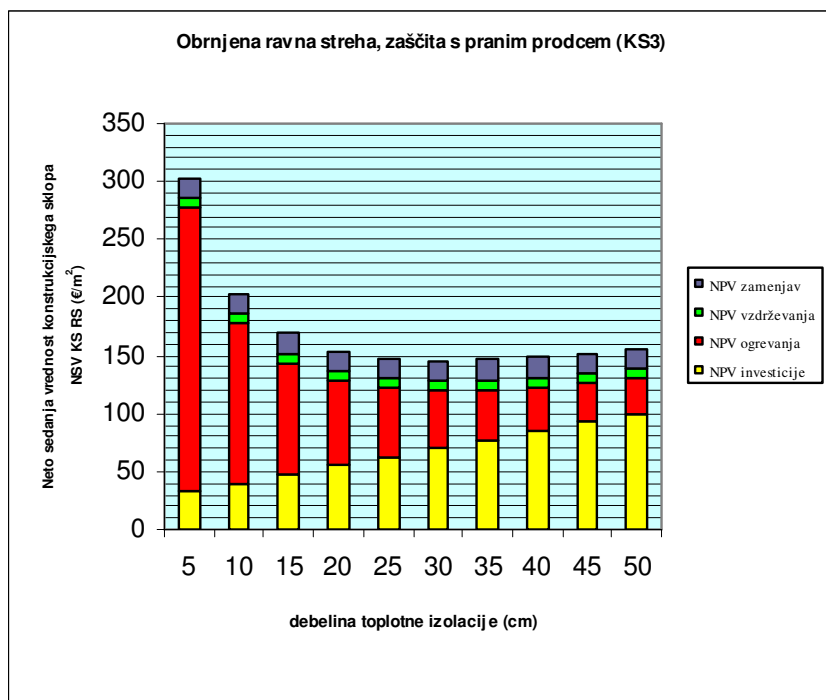
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,15€/kWh



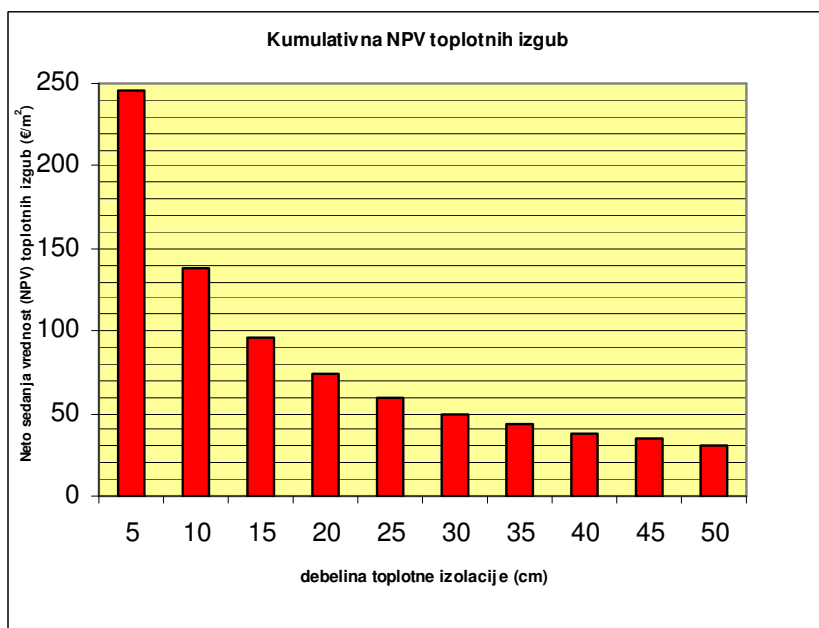
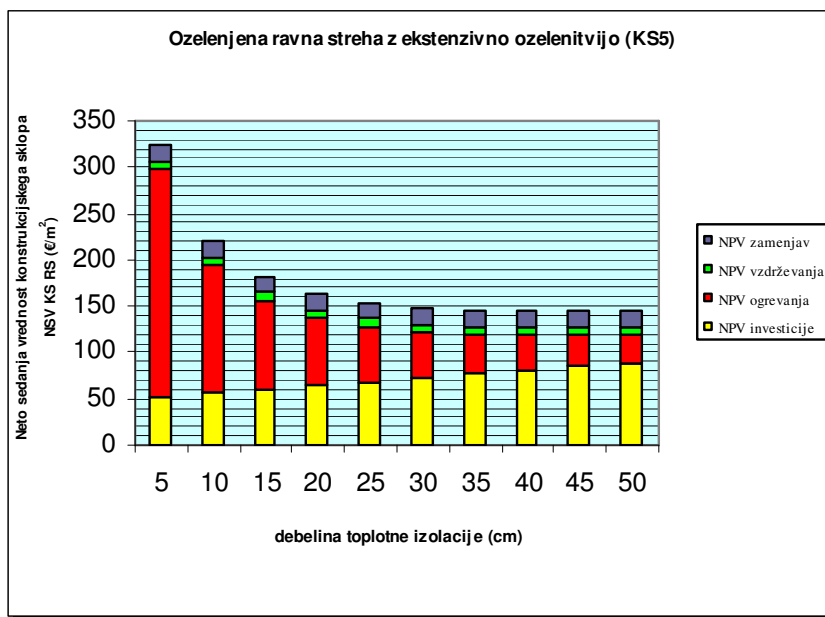
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,20 €/kWh



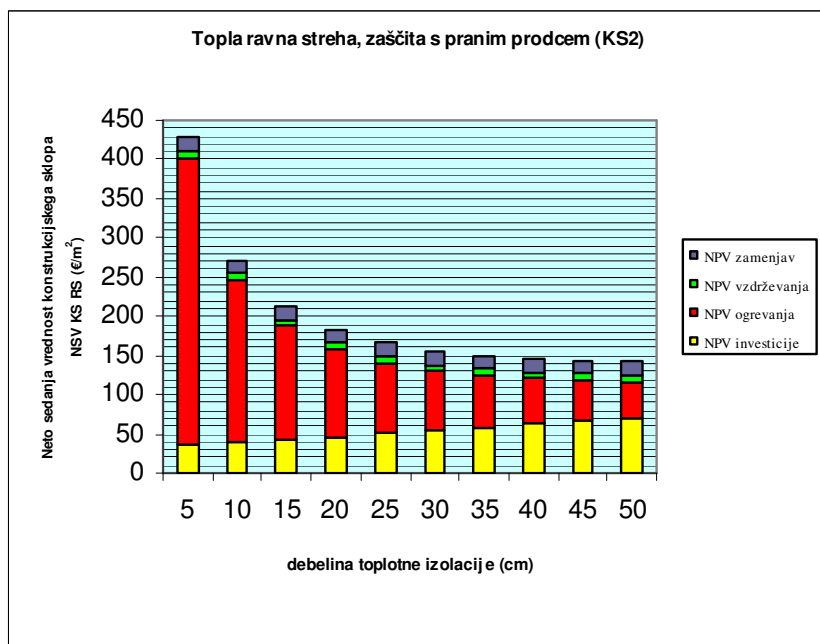
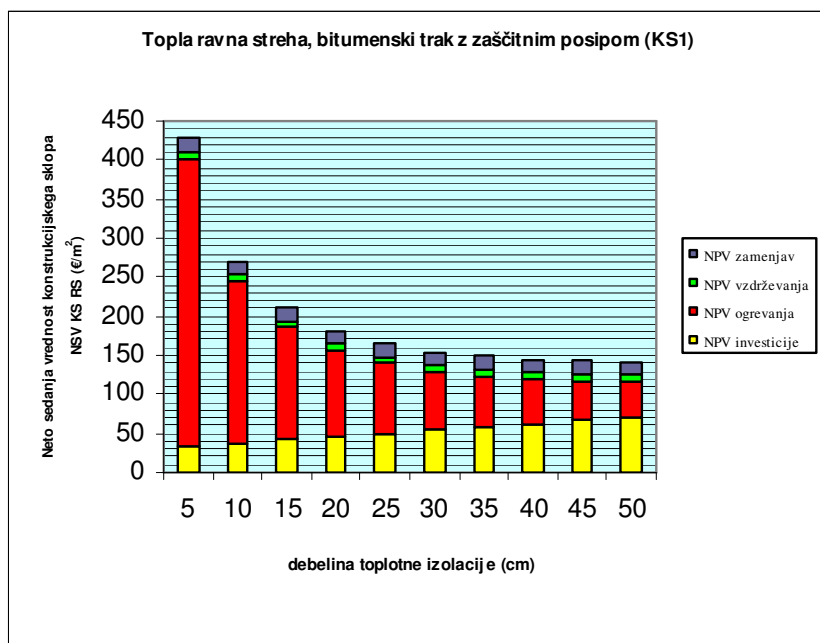
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,20 €/kWh



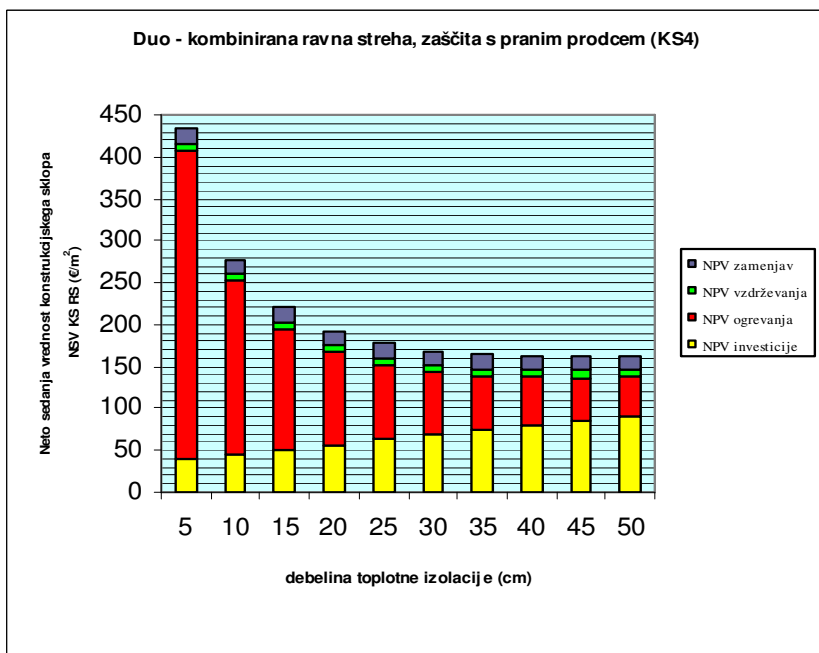
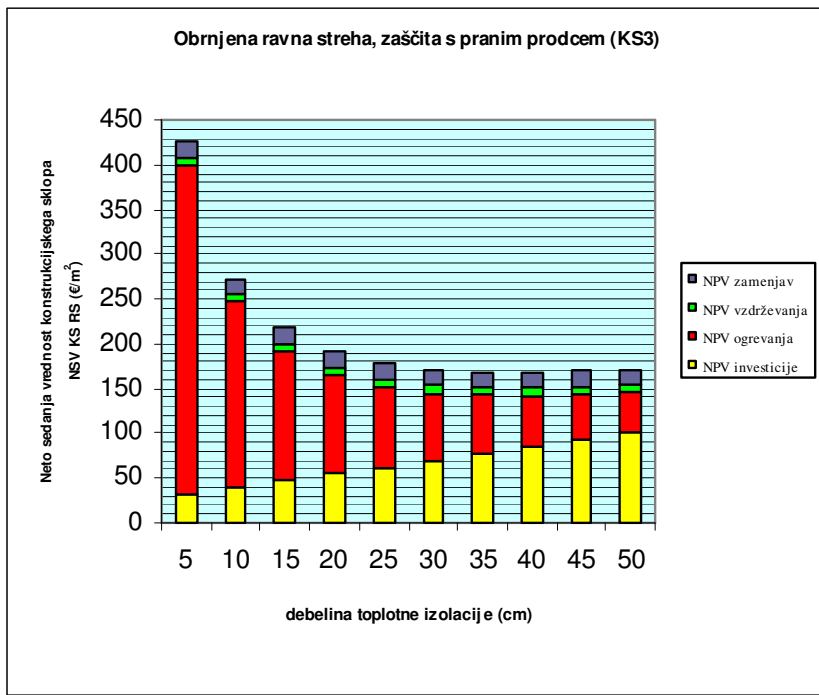
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,20 €/kWh



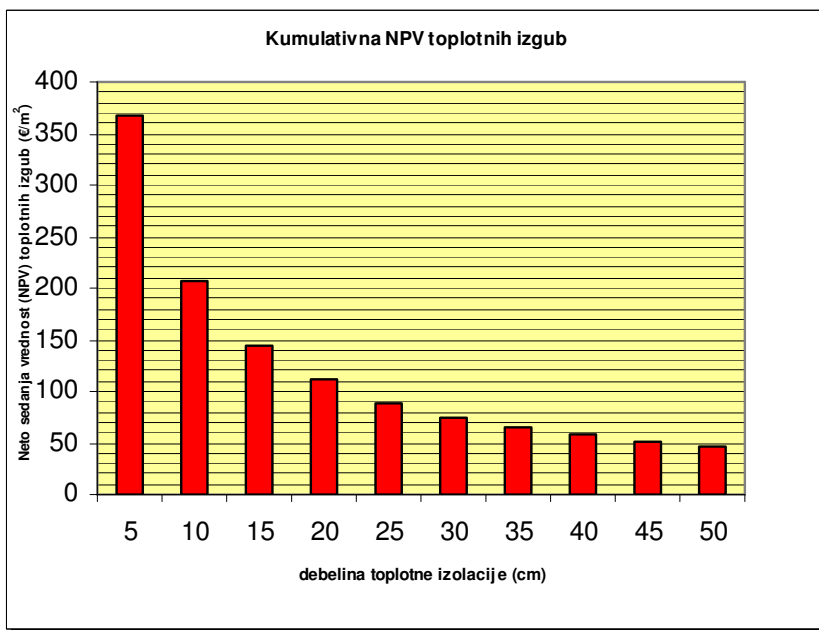
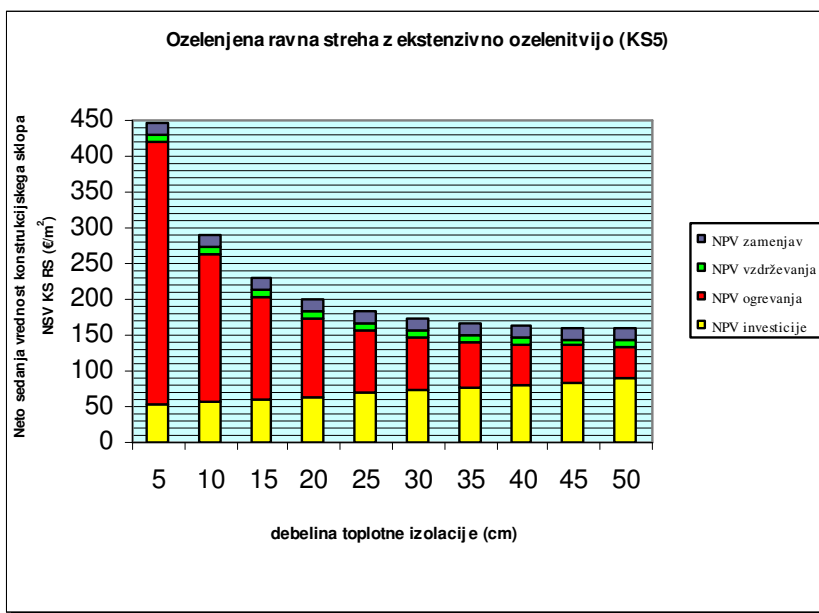
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,30 €/kWh



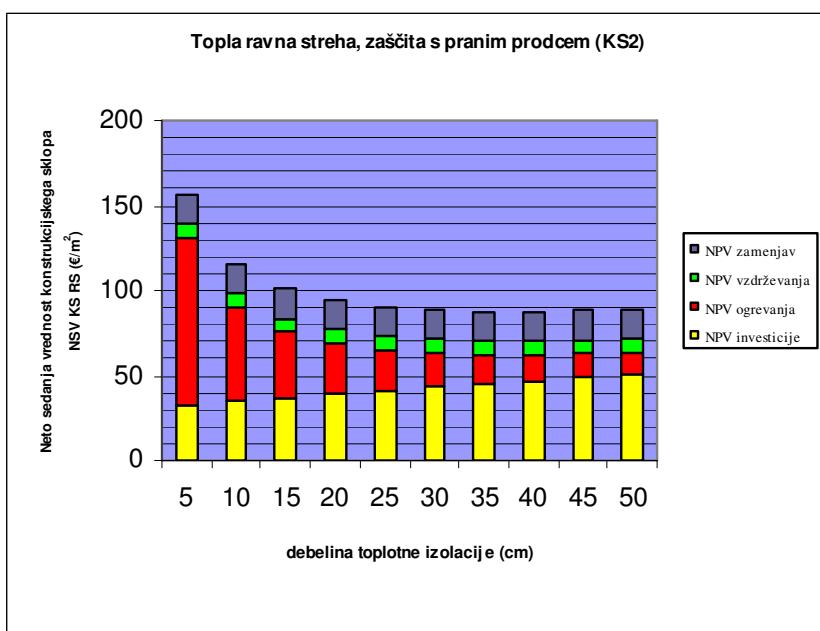
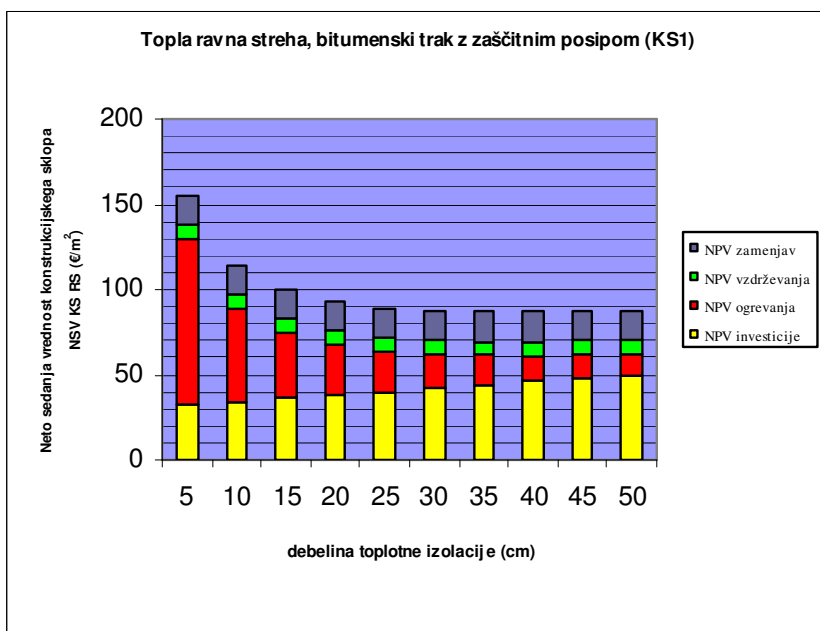
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,30 €/kWh



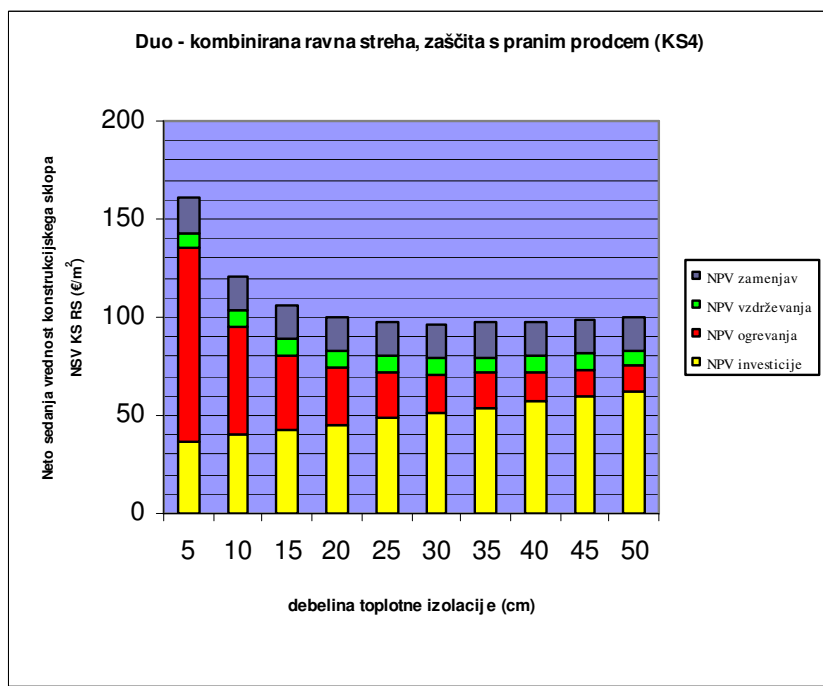
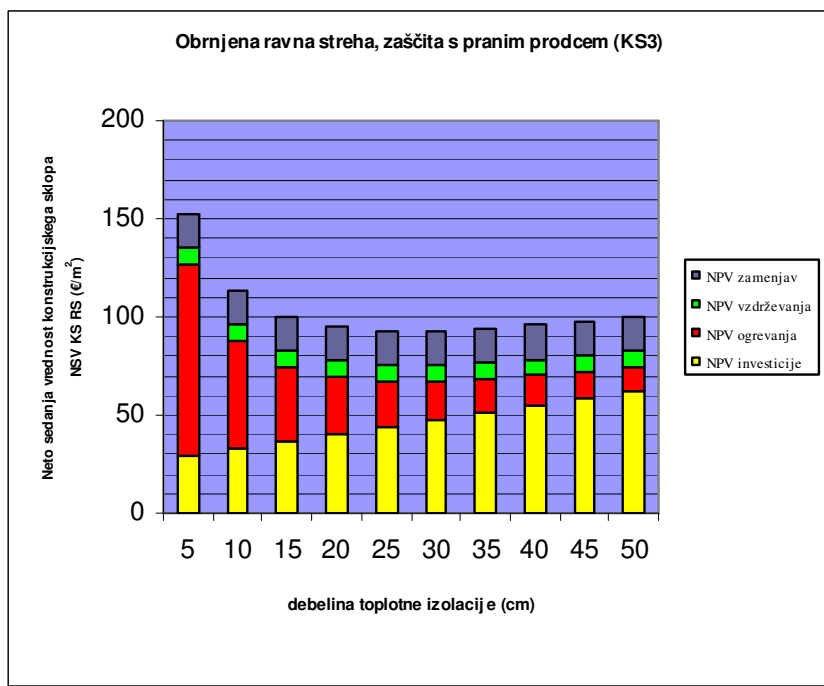
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,30 €/kWh



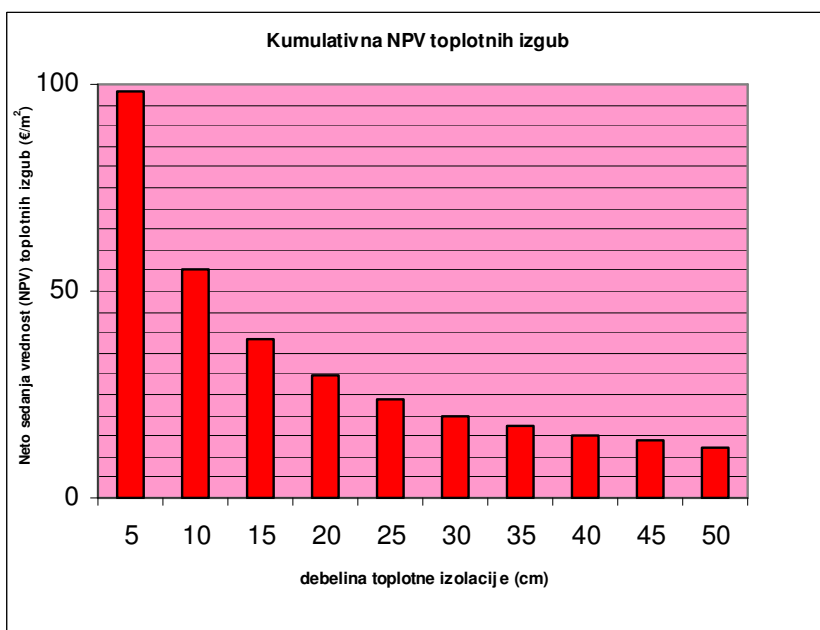
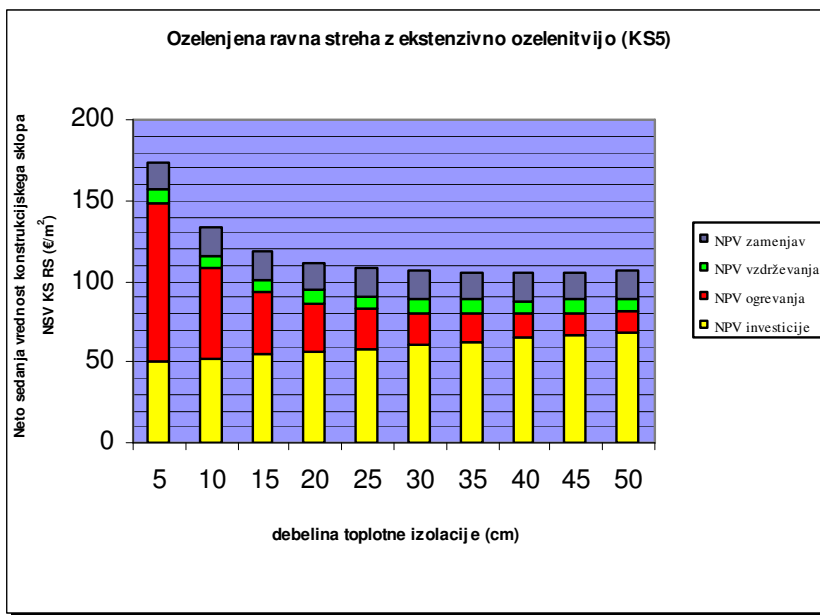
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh) , padec cene toplotnih izolacij za 50%



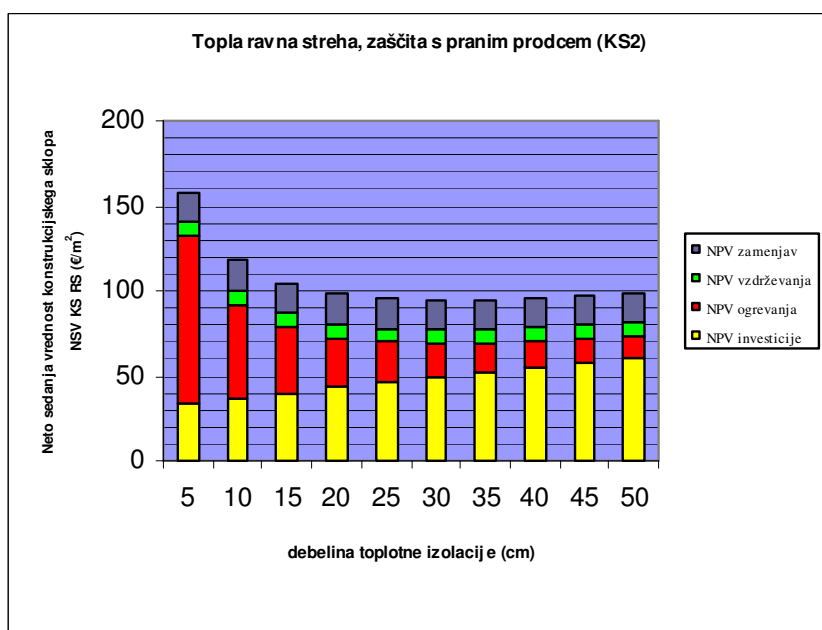
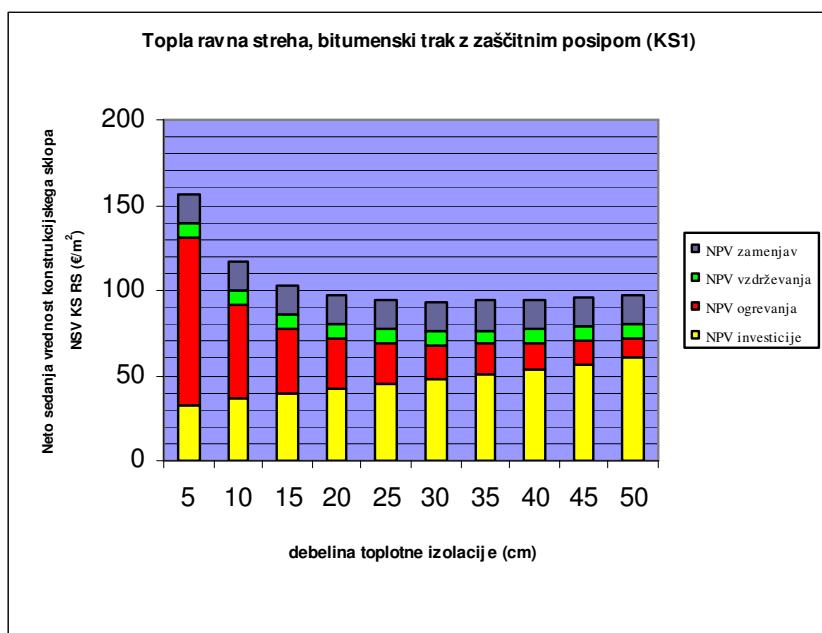
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, padec cene toplotnih izolacij za 50%



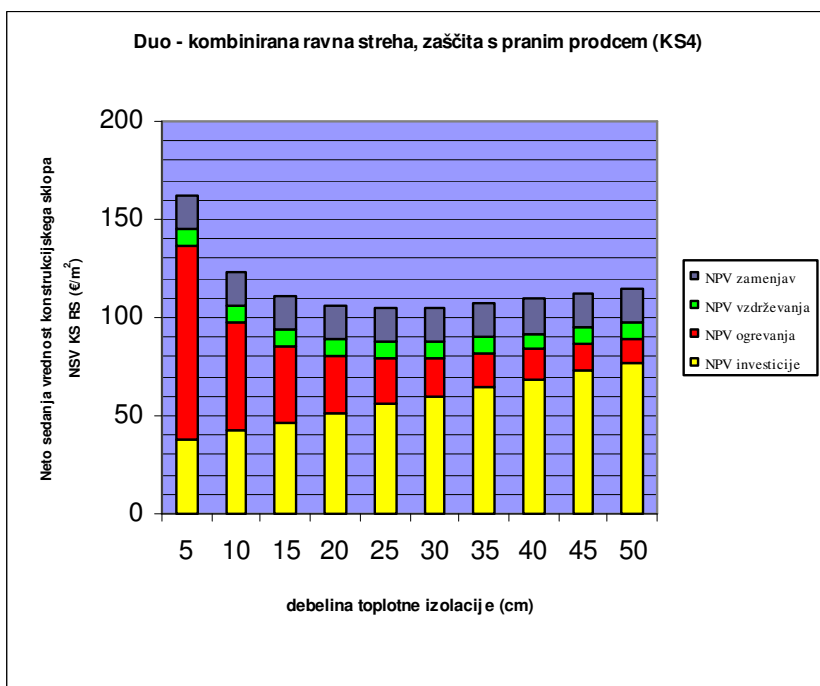
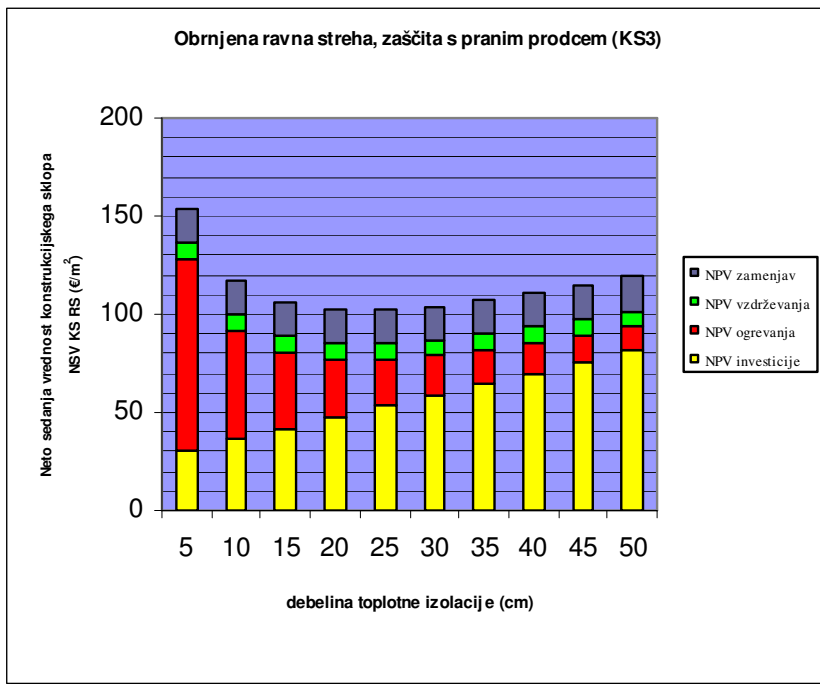
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, padec cene toplotnih izolacij za 50%



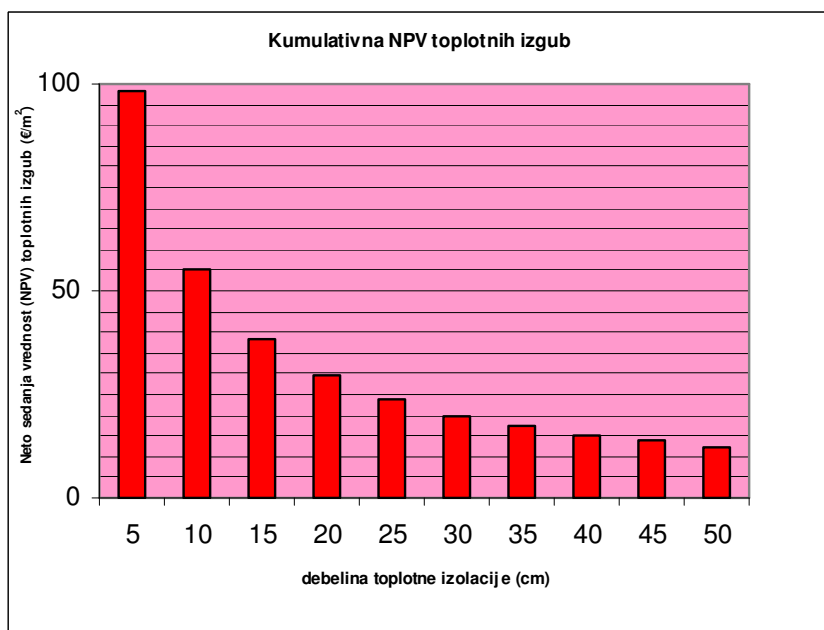
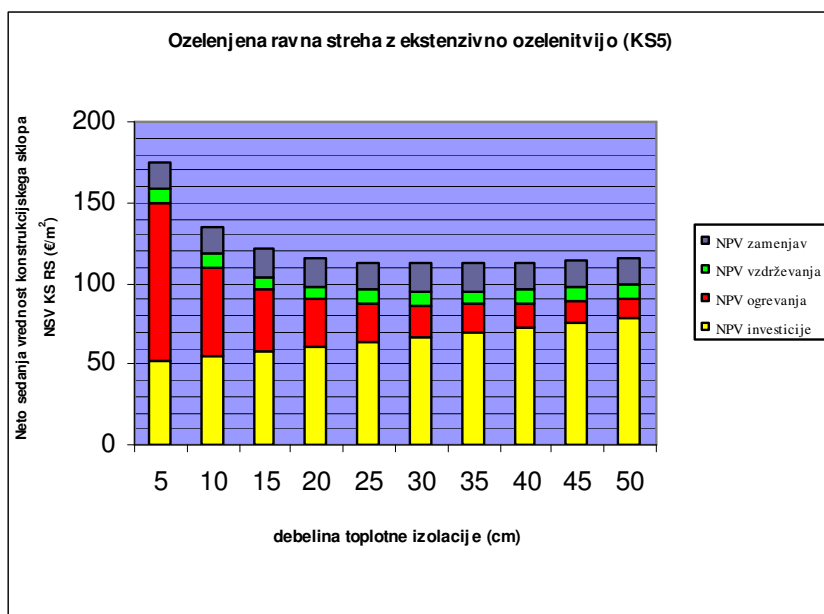
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, padec cene toplotnih izolacij za 25%



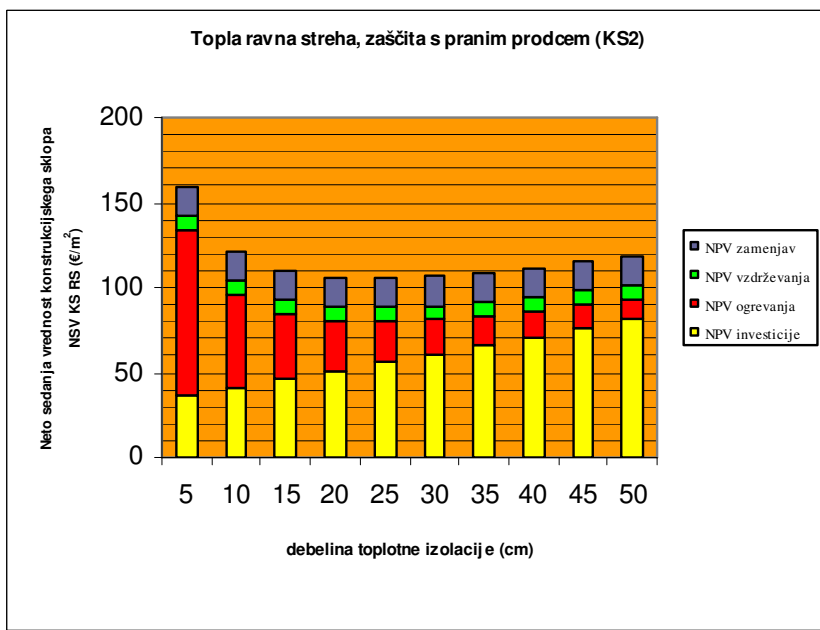
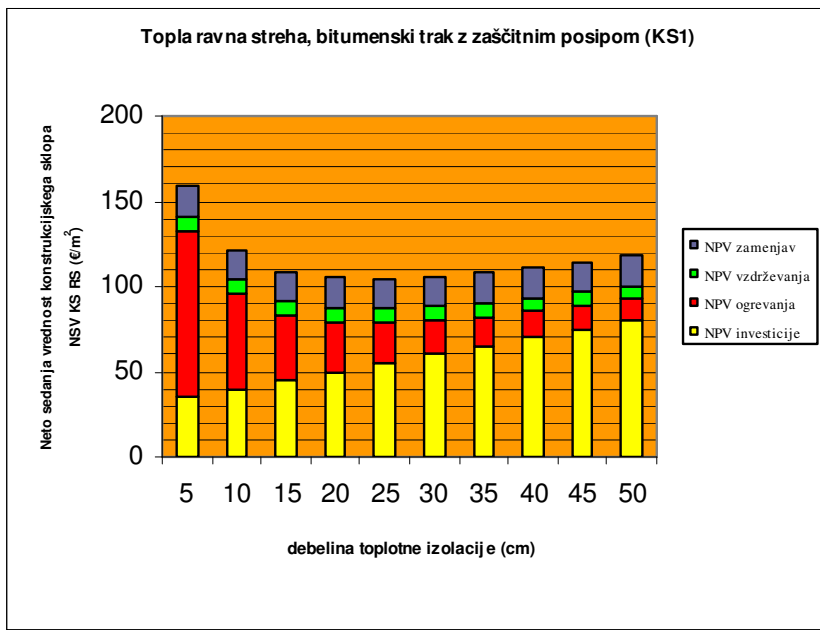
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, padec cene toplotnih izolacij za 25%



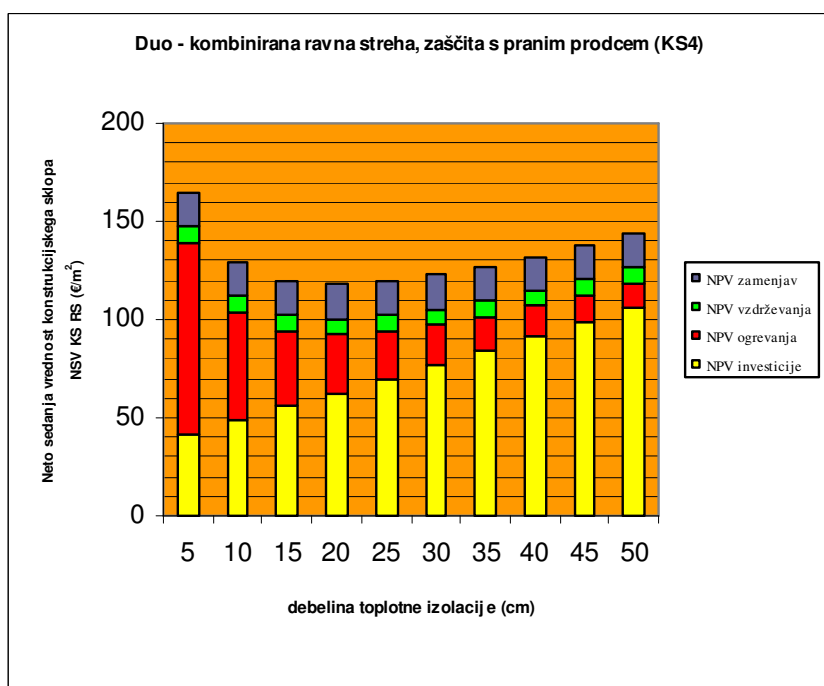
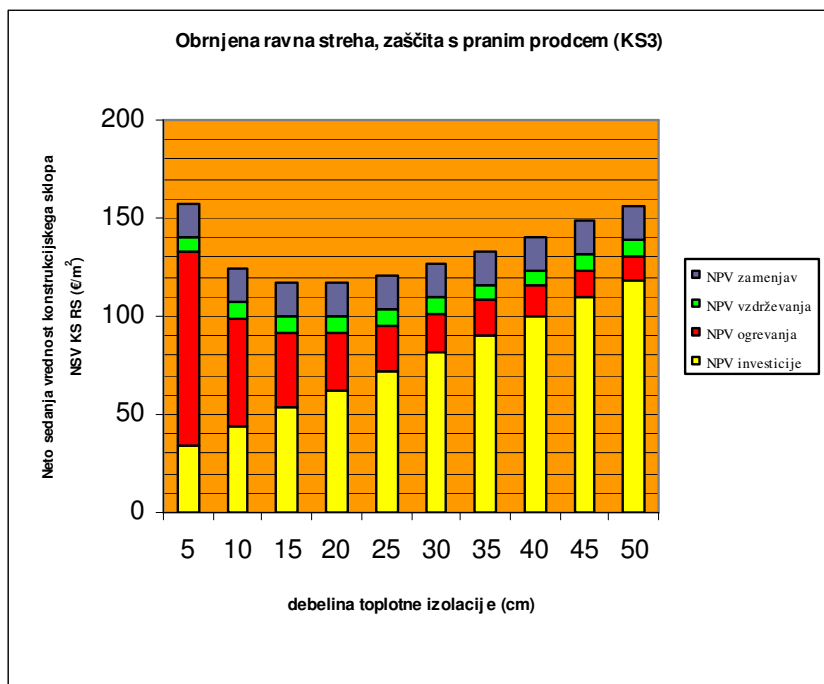
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, padec cene toplotnih izolacij za 25%



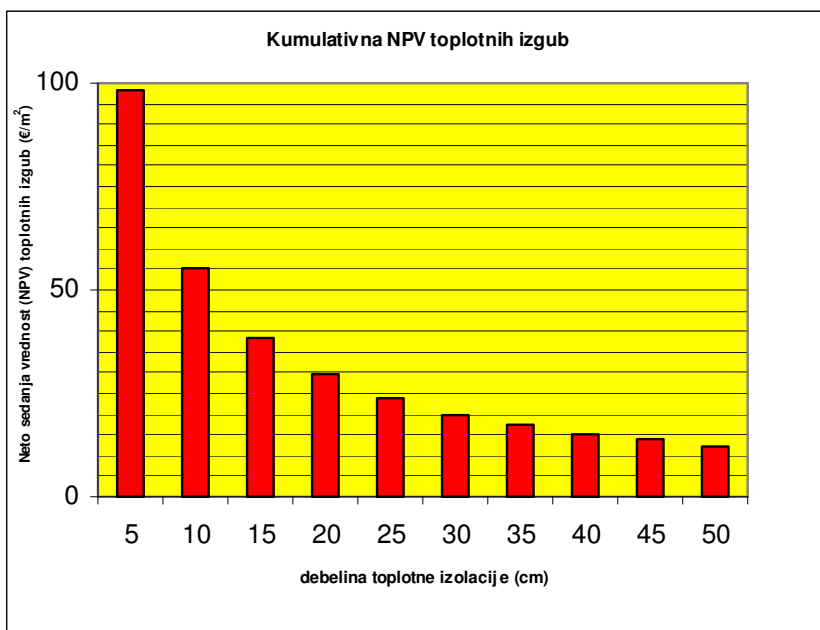
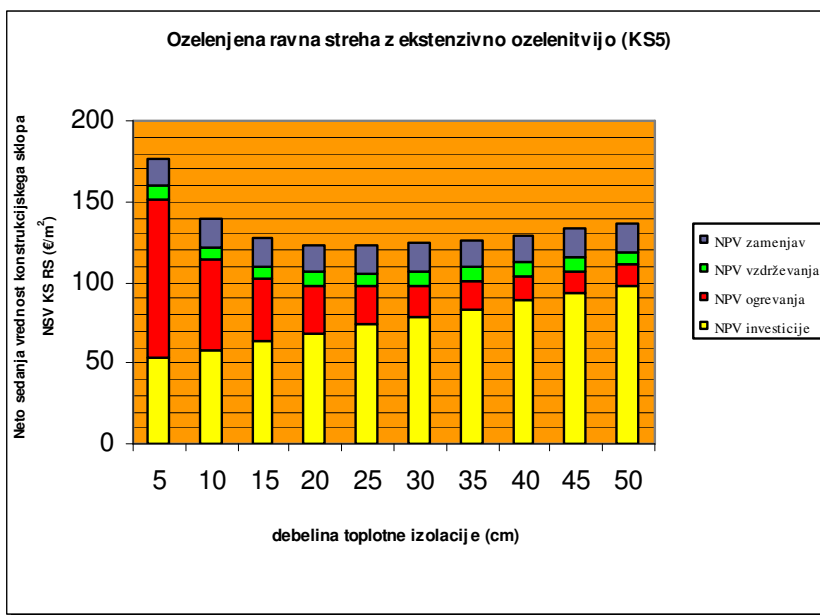
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh , porast cene toplotnih izolacij za 25%



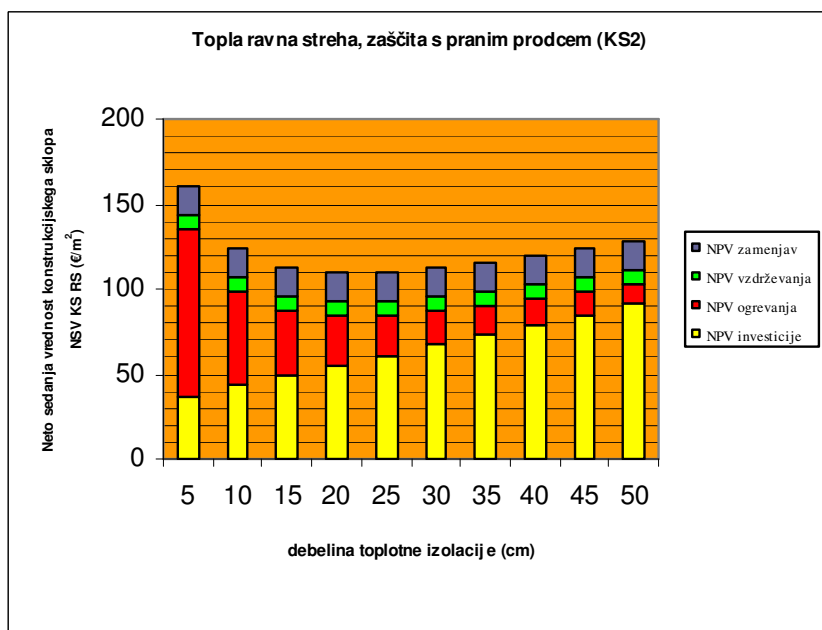
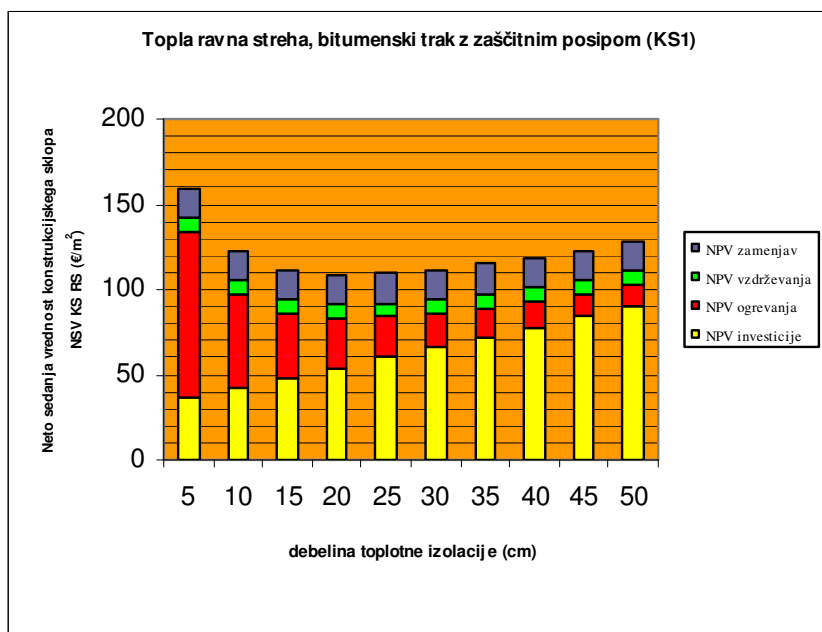
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, porast cene toplotnih izolacij za 25%



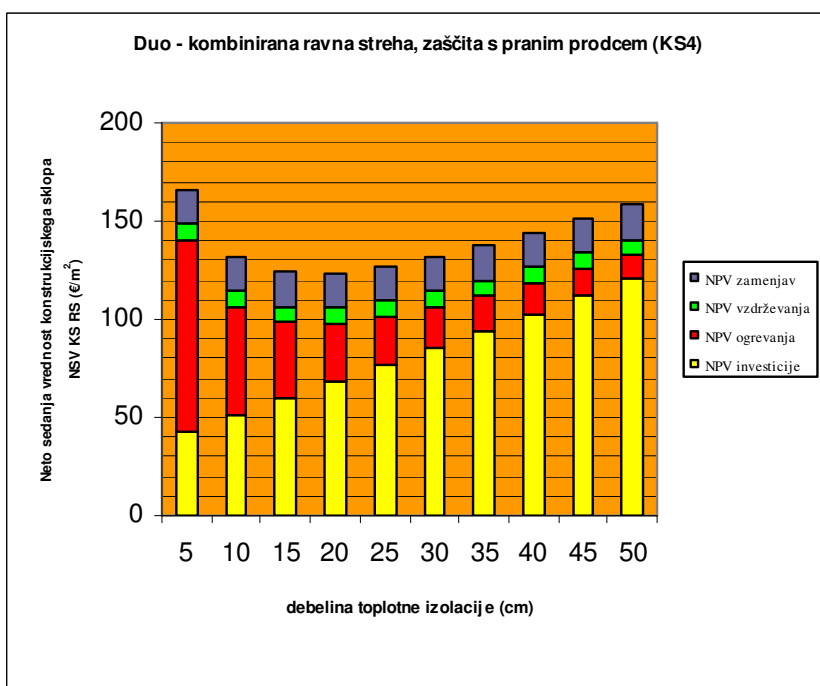
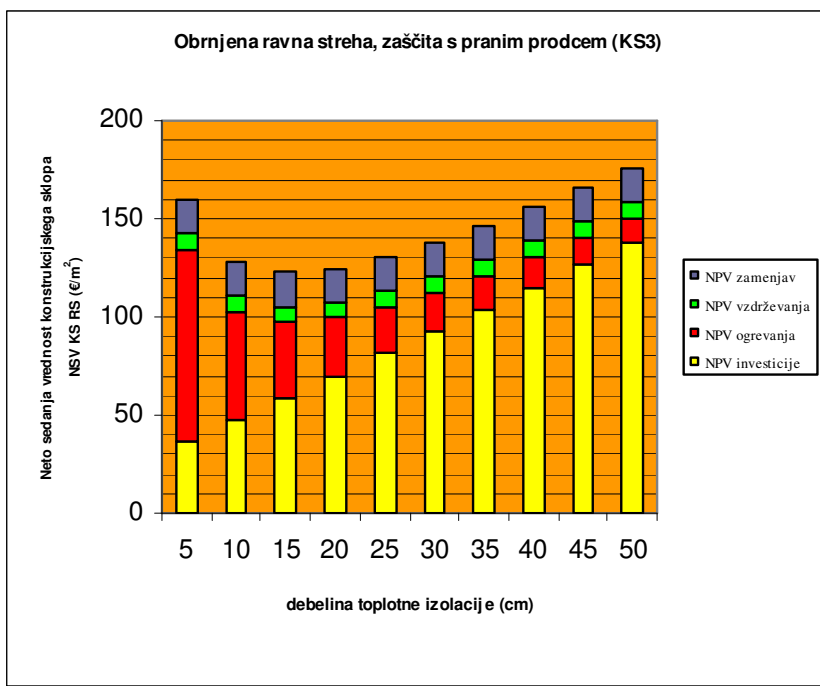
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh) , porast cene toplotnih izolacij za 25%



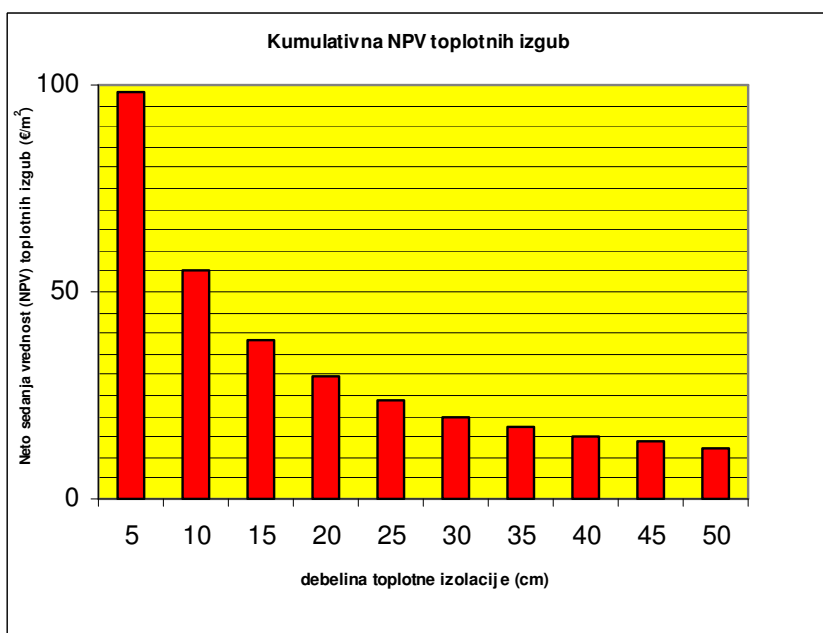
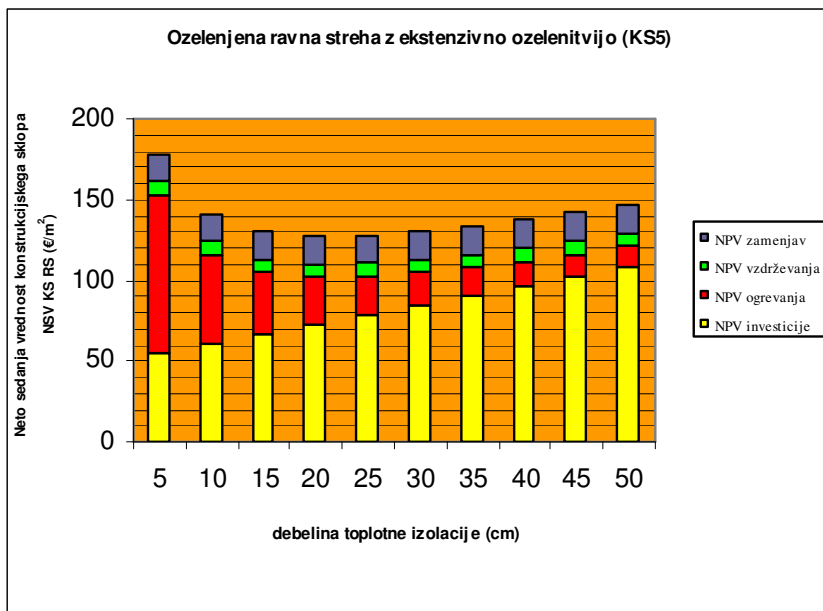
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), porast cene toplotnih izolacij za 50%



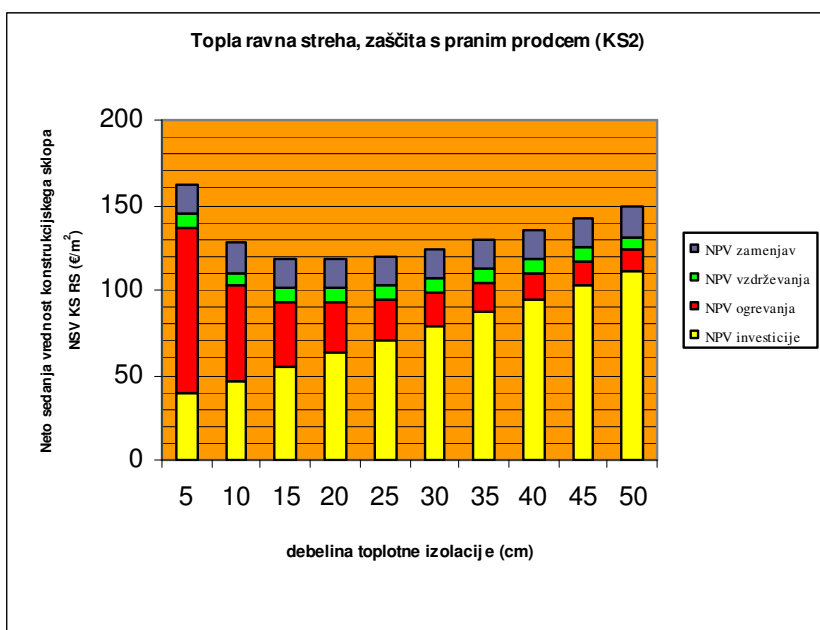
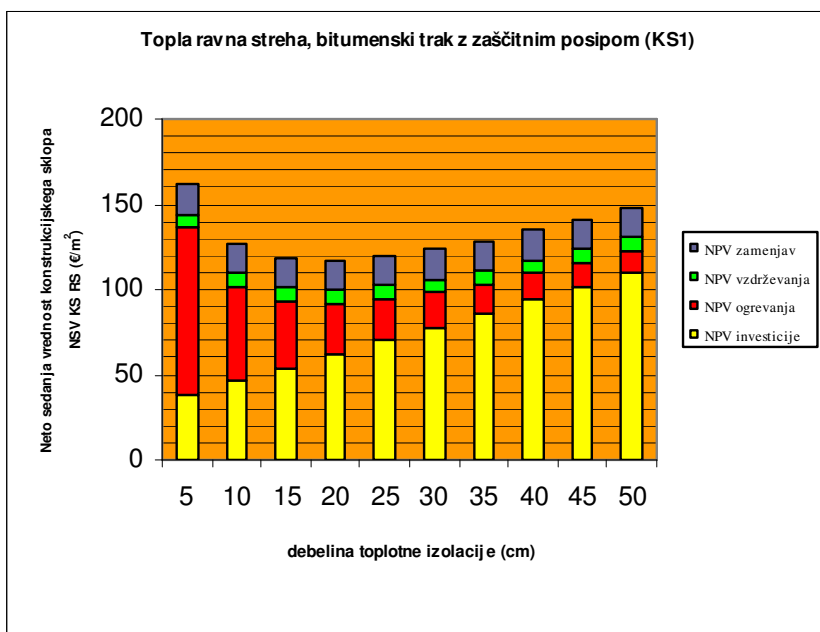
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh) , porast cene toplotnih izolacij za 50%



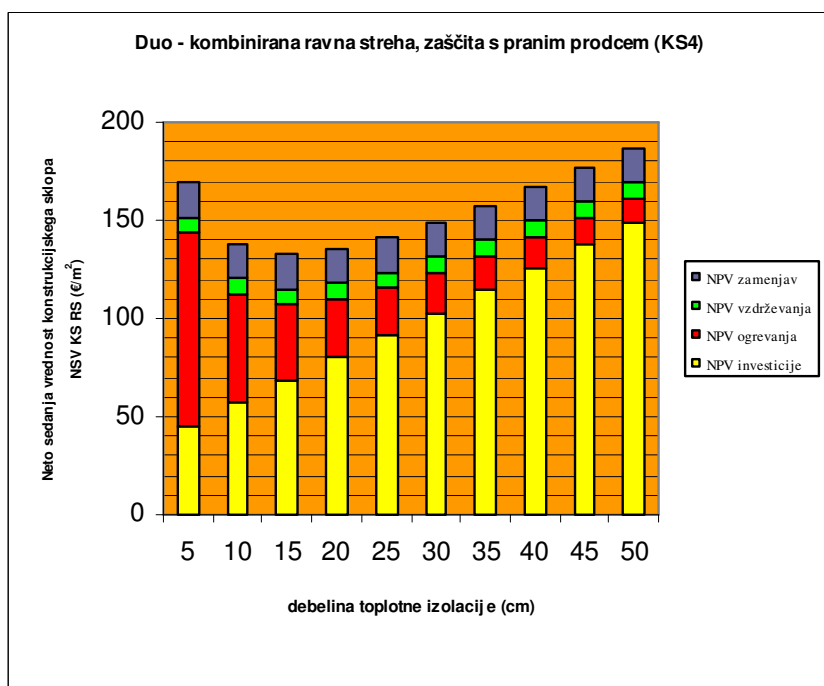
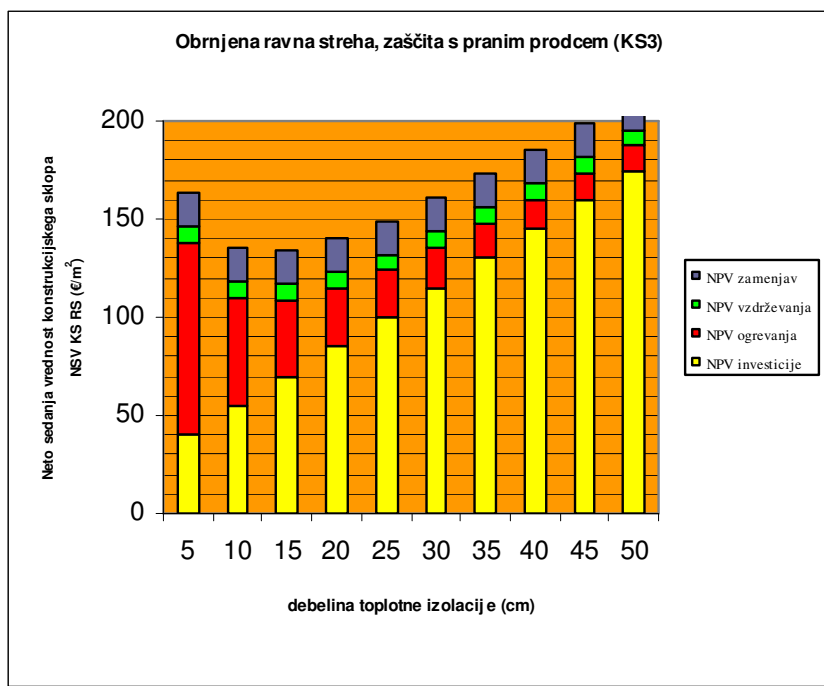
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, porast cene toplotnih izolacij za 50%



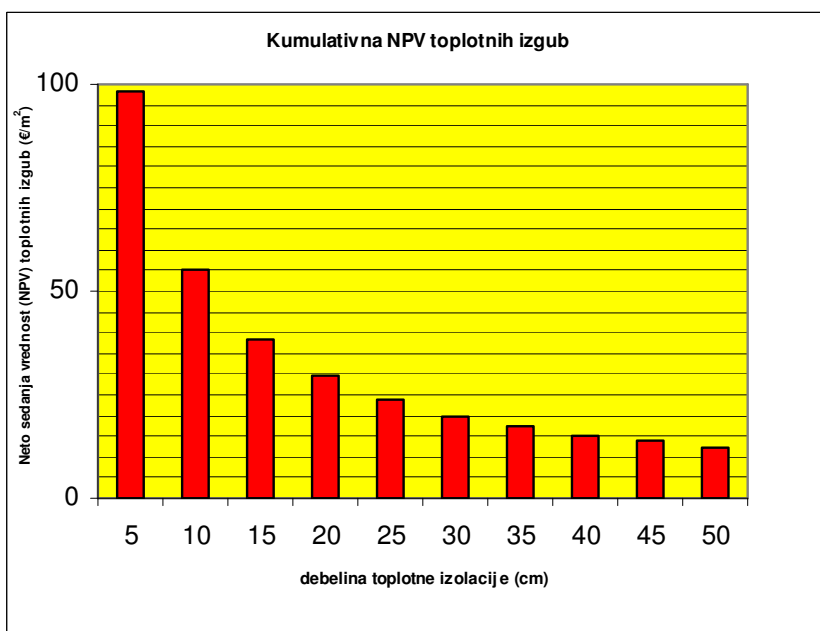
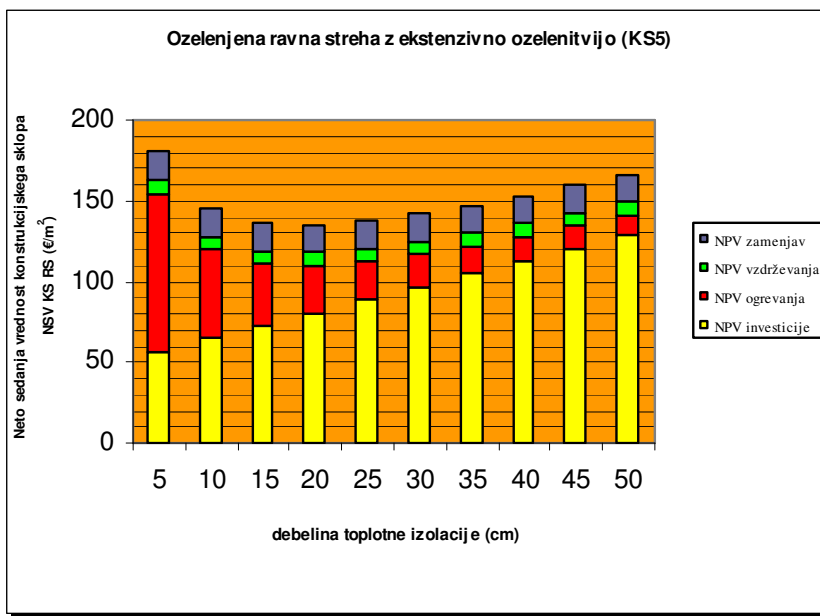
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh) , porast cene toplotnih izolacij za 100%



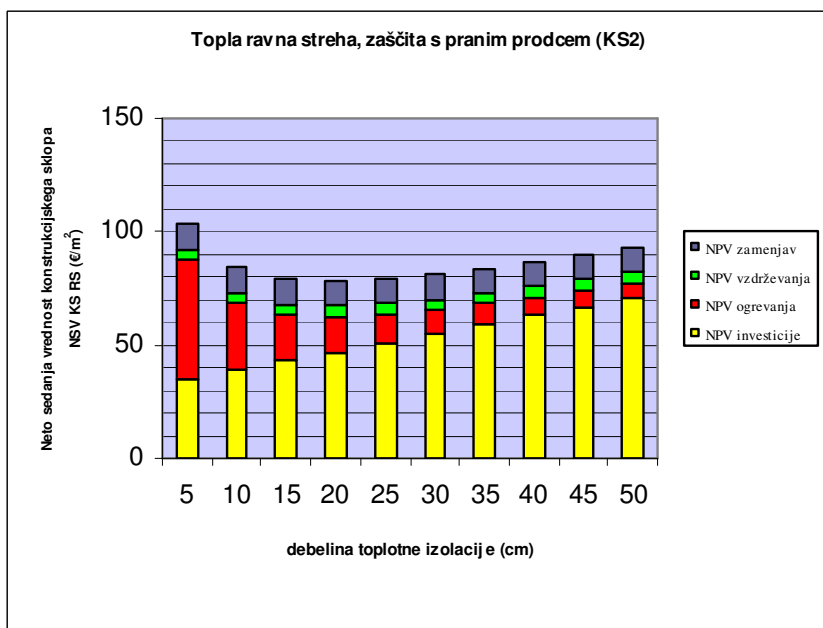
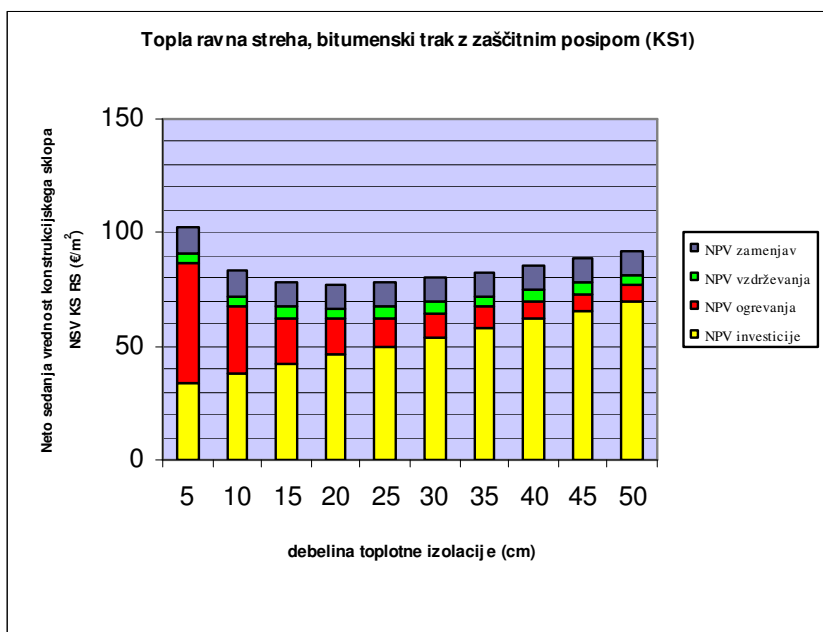
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, porast cene toplotnih izolacij za 100%



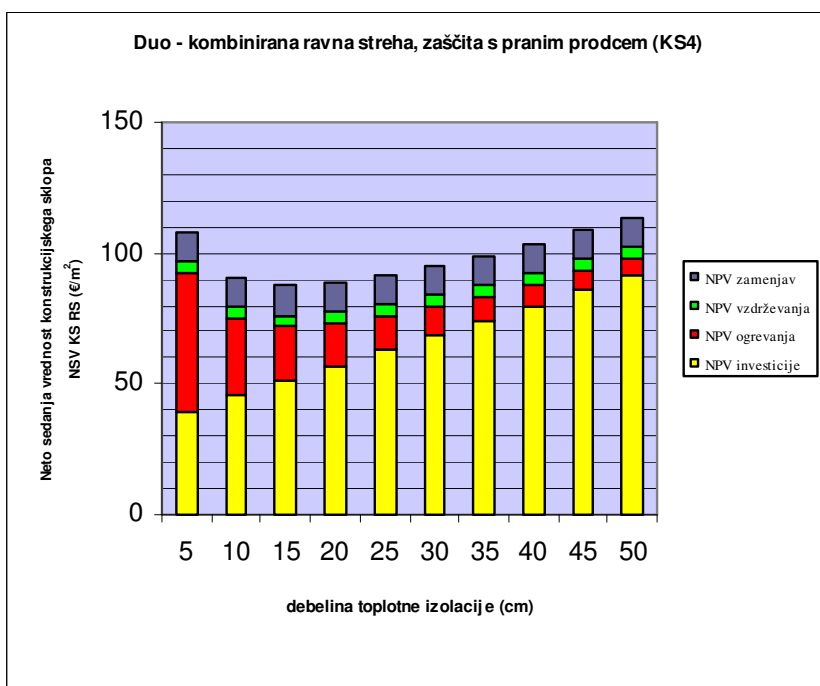
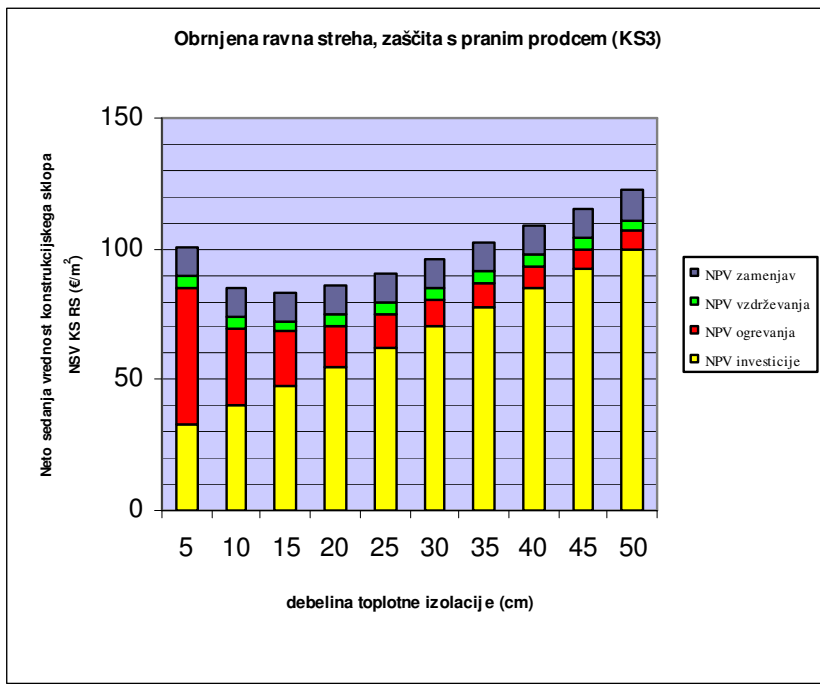
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh , porast cene toplotnih izolacij za 100%



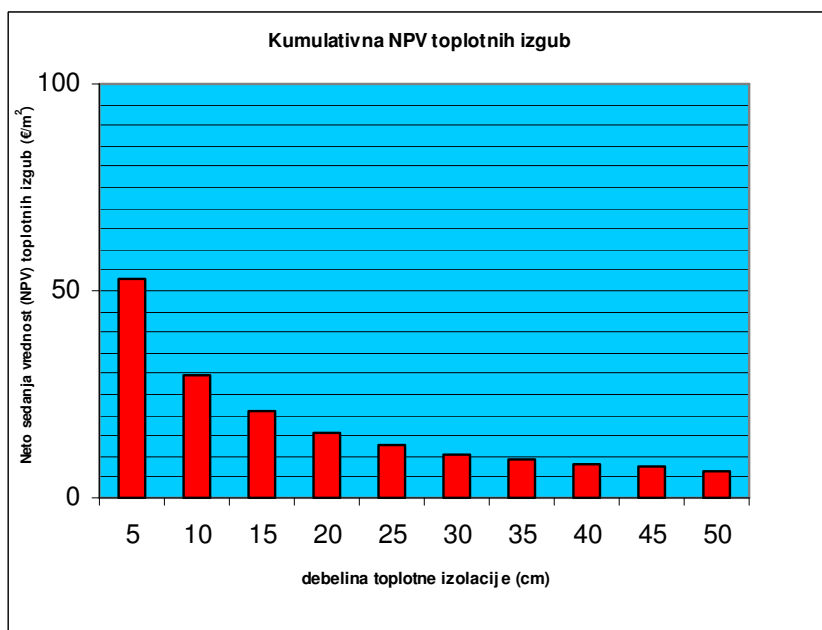
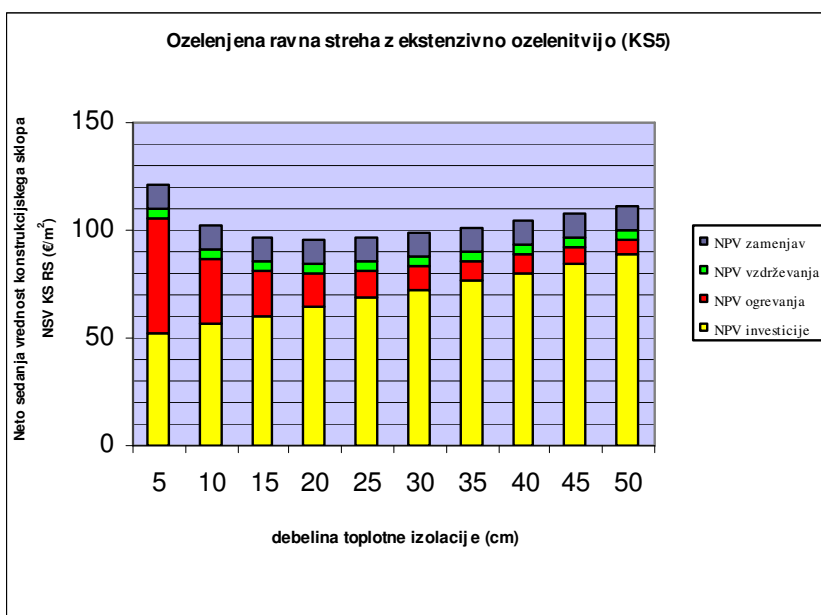
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh), pričakovana življenjska doba 20 let



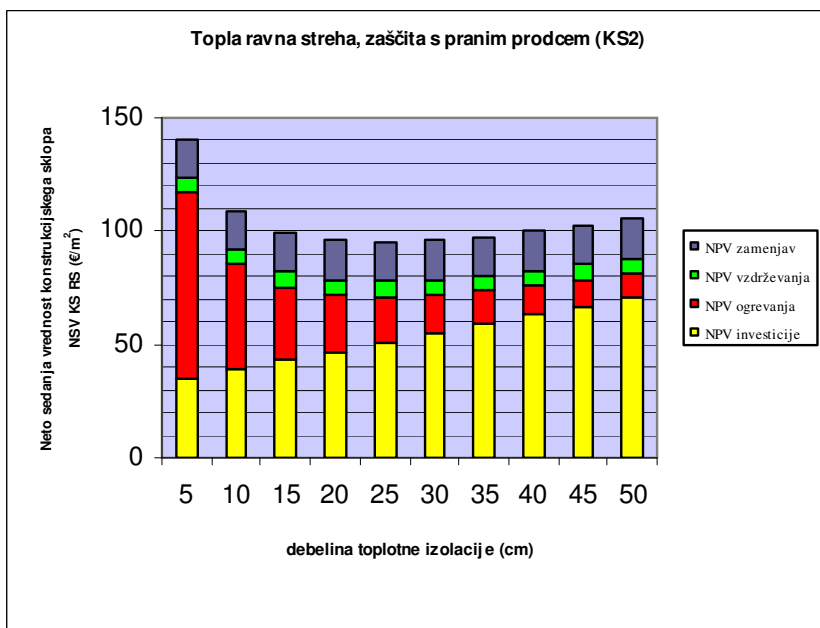
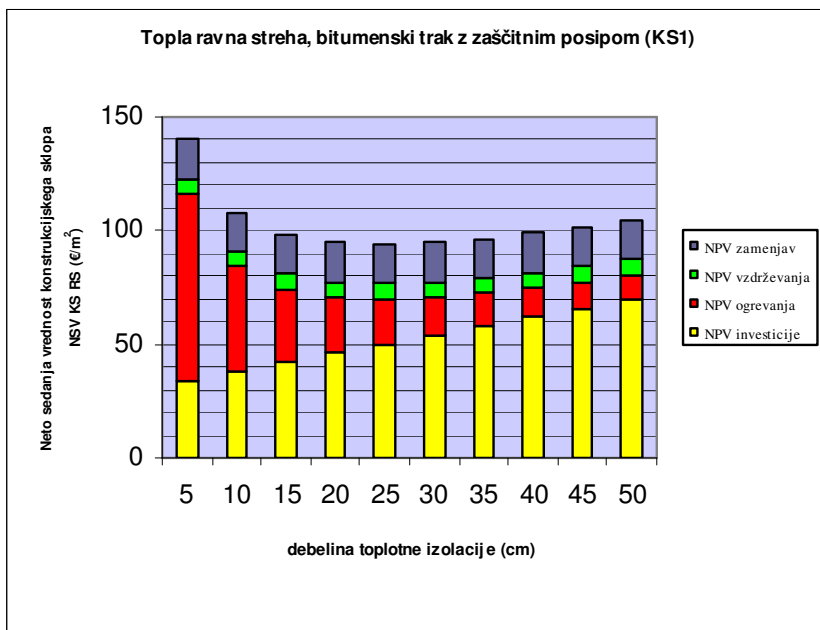
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, pričakovana življenjska doba 20 let



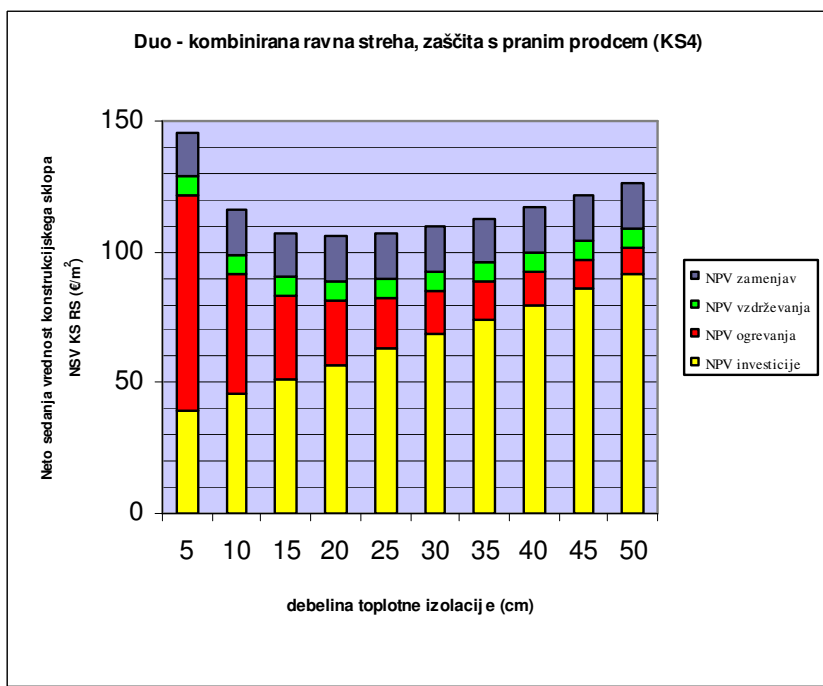
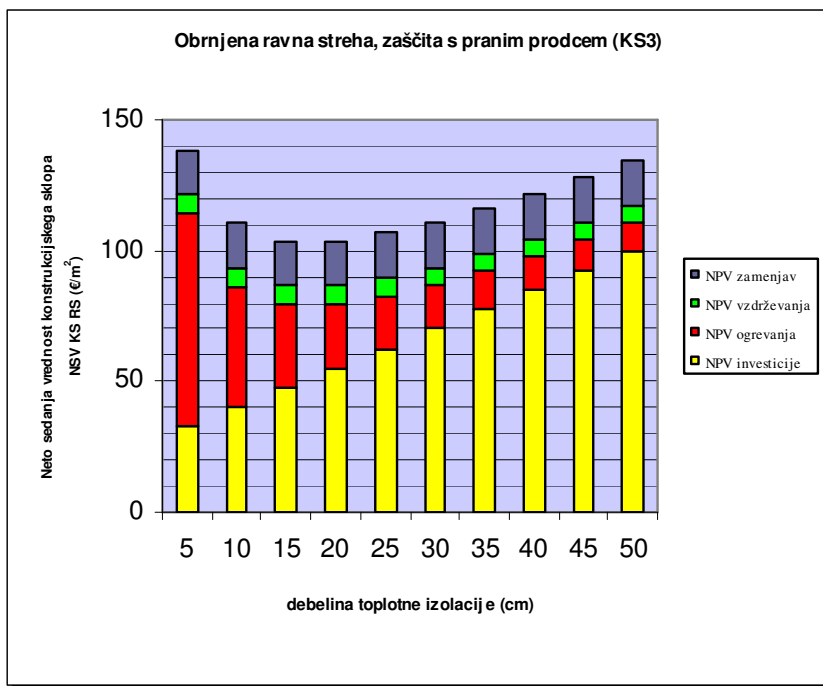
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, pričakovana življenjska doba 20 let



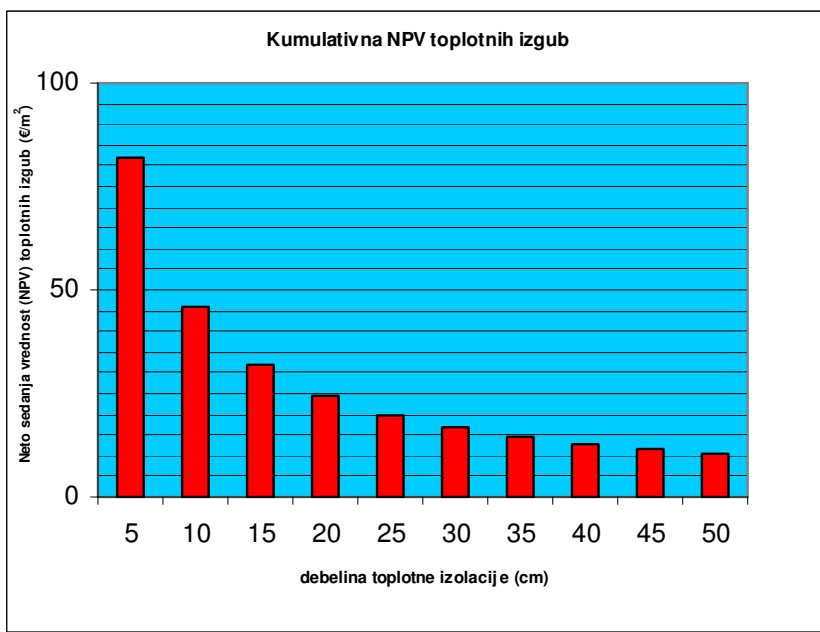
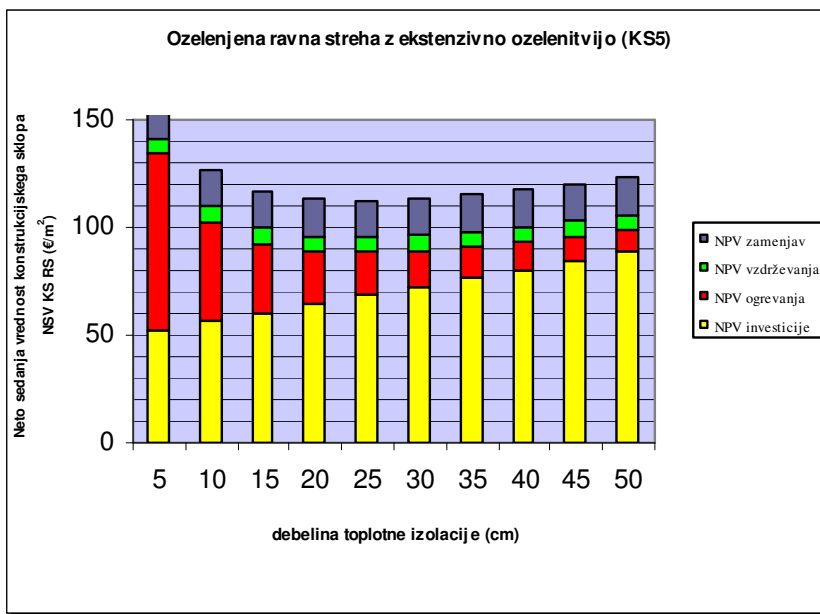
Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, pričakovana življenjska doba 40 let



Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, pričakovana življenjska doba 40 let



Grafična ponazoritev ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu ravnih streh: cena energije 0,08 €/kWh, pričakovana življenjska doba 40 let



⁽⁸⁸⁾ Kunič, R. 2007. Načrtovanje vrednotenja vpliva pospešenega staranja bitumenskih trakov na konstrukcijske sklope. Doktorska disertacija – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente – KSKE.

datum: 2.11.2007,
dokument: dd rk 390,
velikost: 7911936,
strani: 212,
znakov: 224348,
roman.kunic@alumni.clemson.edu
