

POSPEŠENO STARANJE IN DOLOČEVANJE ŽIVLJENJSKE DOBE GRADBENIH MATERIALOV – 2. del: POSPEŠENO STARANJE BITUMENSKIH TRAKOV

ACCELERATED AGEING AND SERVICE LIFE PREDICTION OF BUILDING MATERIALS – 2nd Part: ACCELERATED AGEING OF BITUMINOUS SHEETS

dr. Roman Kunič, univ. dipl. inž. grad.

FRAGMAT TIM, d. d., Oddelek za raziskave in razvoj,
Laško, Slovenija

prof. dr. Boris Orel, univ. dipl. inž. fiz.

KEMIJSKI INŠTITUT, Hajdrihova 19, Ljubljana, Slovenija

Znanstveni članek

69.059.4:691.16

Povzetek | V razvojni nalogi želimo določiti povezavo med življenjsko dobo bitumenskih hidroizolacijskih trakov in posredno hidroizolacijskih sistemov. Za teoretično podporo eksperimentalnemu testiranju bitumenskih trakov pri povišani temperaturi in različnih časih izpostavljenosti nam bo služil Arrheniusov zakon pospešenega staranja.

Summary | The primary objective of the research is to define the connection between the service life of bituminous sheets. The Arrhenius law of accelerated testing will be used as the theoretical support to experimental testing of bituminous sheets at high temperature and different exposure times.

1 • UVOD

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 stavbe kot tudi

za gradbene inženirske objekte izredno velika. Opažamo tudi, da so življenjske dobe objektov vse krajše, poraba energije ter obremenjevanje okolja pa vse večja.

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 poglavita 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 doganjji koristili investitorjem in uporabnikom.

2 • VREDNOTENJE POSPEŠENEGA STARANJA IN NAPOVEDOVANJE ŽIVLJENJSKE DOBE BITUMENSKIH TRAKOV

Pospešeno staranje bitumenskih trakov v skladu s standardoma SIST EN 1296 in SIST EN 1297 traja celo 24 tednov (skoraj pol 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 razisko-

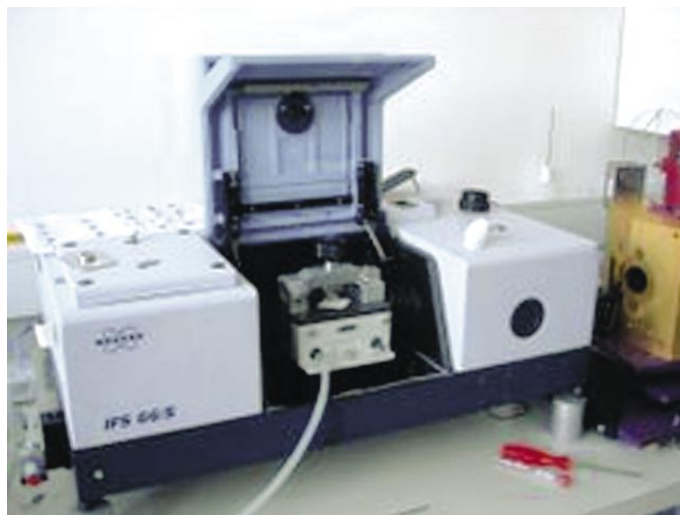
nimi polimernimi dodatki, poznanimi pod imenom ataktični polipropilen in okrajšavo APP (komercialna oznaka IZOTEKT T4 PLUS), in bitumenskih trakov, modificiranih z elastomernimi polimernimi dodatki, t.i. stiren-bitadilen-stiren s kratico SBS (proizvod z imenom IZOELAST T4 PLUS). Oba s polimernimi dodatki modificirana trakova sta v skladu s standardi SIST EN 13969, SIST EN 13707 in SIST 1031. Vsi preskušani bitumenski trakovi pa vsebujejo tudi dodatke iz mineralnih polnil in ustrezni nosilec, ojačitev ali armaturo iz steklenega

2.1 Upogljivost 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 1), ne da bi se pri tem pojavile razpoke. Predpisana je priprava vzorca (s površine moramo odstraniti zaščitno PE-folijo), način ohlajevanja vzorcev (v temperaturno regulirani kopeli), hitrost gibanja trna (360 +/-40 mm/min.) kot tudi osvetlitev in drugi pogoji ob subjektivni oceni pojava razpok



Slika 1 • Določevanje upogljivosti bitumenskih trakov pri nizkih temperaturah



Slika 2 • Infrardeči spektrometer BRUKER IFS 66/S

vanj, z upoštevanjem Arrheniusove teorije pospešenega staranja in ugotovitev 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 oksidiranih bitumenskih trakov (komercialna oznaka IZOTEM V4 in v skladu s standardom SIST EN 13969 in SIST 1031), bitumenskih trakov, modificiranih s plastomer-

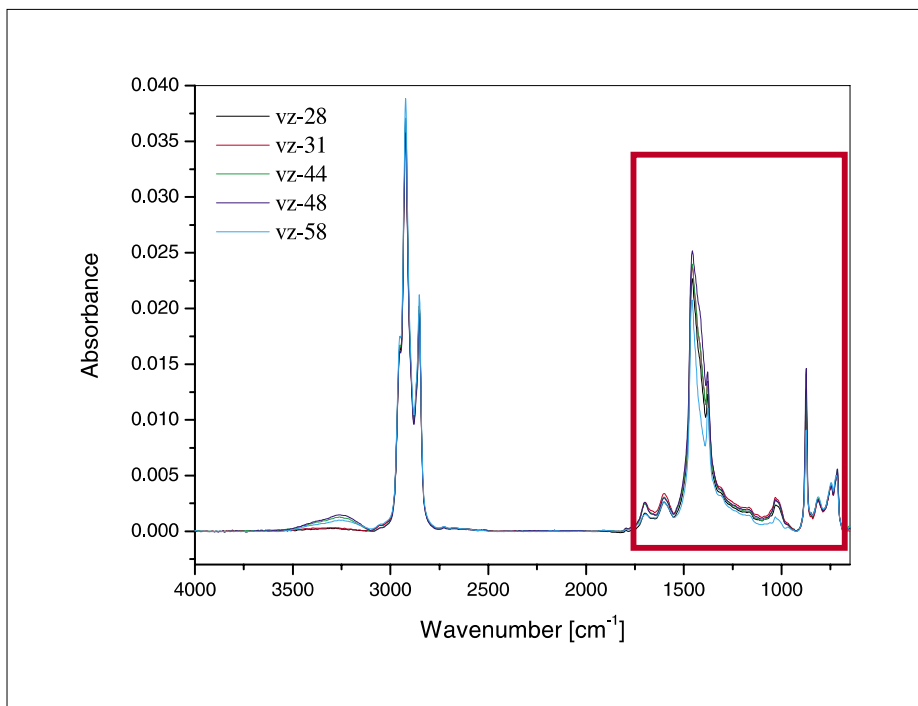
voala (oznaka V) gramature ~50 g/m² ali iz steklene tkanine (oznaka T) gramature ~200 g/m². Obojestranska površinska zaščita proti zlepljenju med skladiščenjem in transportom je v vseh primerih omenjenih bitumenskih trakov HDPE folija debeline ~7 µm, ki je za namen meritev in staranja odstranjena s površine.

Postopek staranja smo izvajali v pečici – sušilniku (tip ELEKTROMEHANIKA LABONOVA ST 80) v podjetju FRAGMAT IZOLIRKA v Ljubljani. Pospešeno staranje je potekalo pri +70 °C, +80 °C, +90 °C, +100 °C in +110 °C. Primerjavo smo izvajali s staranjem istih vzorcev pri sobni temperaturi (na +21 °C +/-3 °C), torej brez pospešenega staranja.

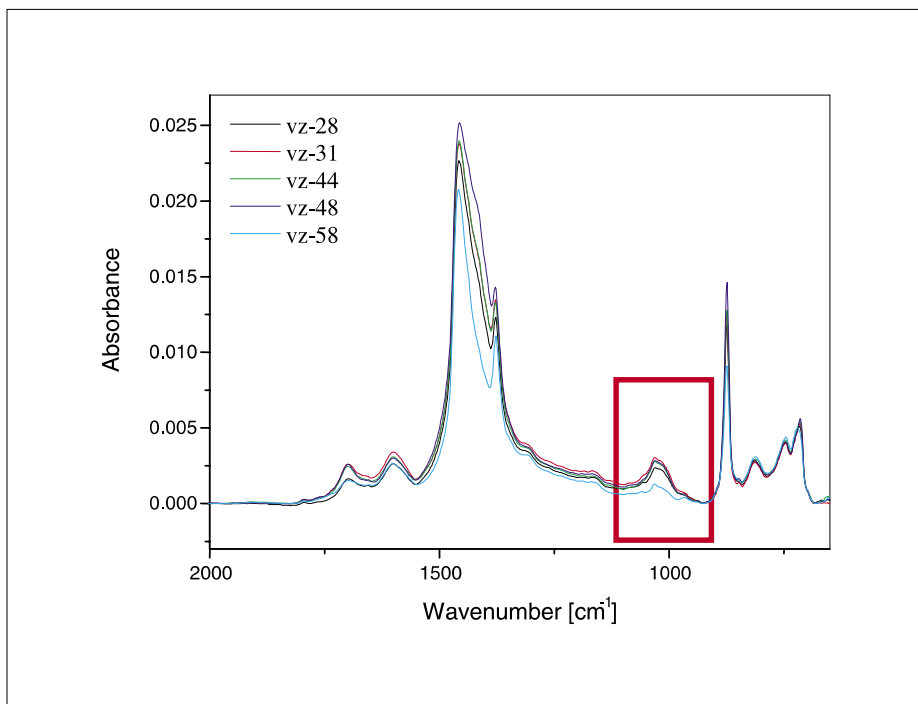
na vzorcu. Meritve upogljivosti pri nizkih temperaturah smo opravljali z opremo zamrzovalne skrinje za ohlajanje vzorcev do -33 °C proizvajalca Gorenje, Velenje, meritev prstan kroglica P/K na aparatu FOCHLER P/K Automat in določevanja upogljivosti pri nizkih temperaturah z aparatom izdelave po naročilu in umerjanju na ZAG Ljubljana.

2.2 Spektralna analiza

Meritve spektralne analize smo opravljali na Kemijskem inštitutu v Ljubljani. Tip spektrometra je BRUKER IFS 66/S (slika 2). Omenjena aparatura omogoča metodo meritve z oslabilnim popolnim odbojem (Attenuated Total Reflectance – ATR). Uporablja se za analizo površin snovi in za



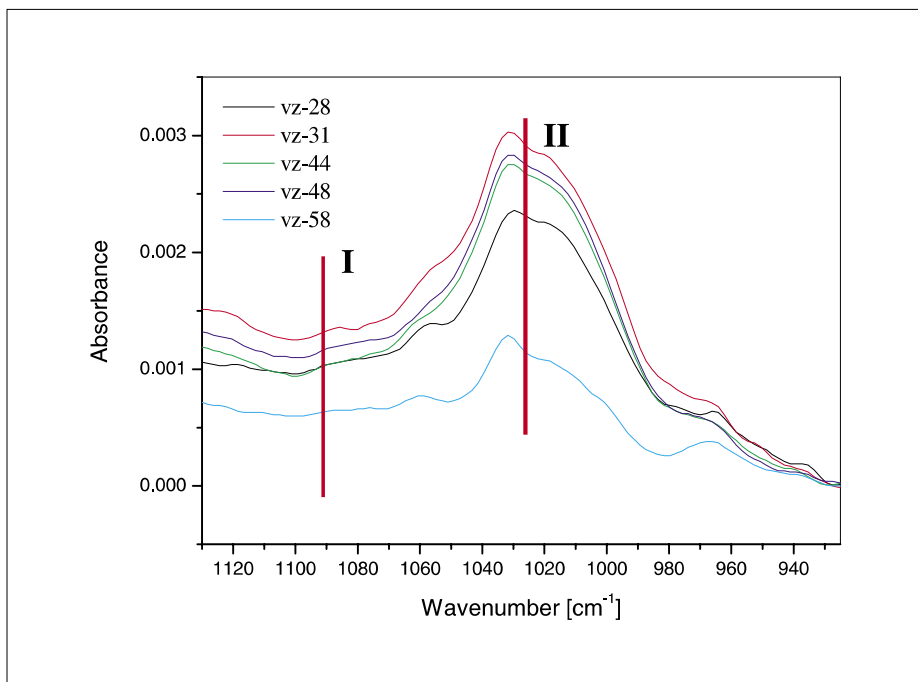
Slika 3 • Spektralna analiza staranja bitumenskega traku iz oksidiranih bitumnov (območje od 4000 do 650 cm^{-1}). IR-spektri vzorcev ustrezajo tretiranju vzorcev pri naslednjih pogojih: vzorec 28 (+90 °C, 10 dni, črna krivulja), vzorec 31 (+90 °C, 12 dni, rdeča krivulja), vzorec 44 (+80 °C, 16 dni, zelena krivulja), vzorec 48 (+80 °C, 21 dni, temnomodra krivulja) in vzorec 58 (nestaran vzorec, svetlomodra krivulja)



Slika 4 • Spektralna analiza staranja bitumenskega traku iz oksidiranih bitumnov (območje od 2000 do 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, temnomodra krivulja) in vzorec 58 (nestaran vzorec, svetlomodra krivulja)

karakterizacijo spojin, ki so pretanke ali pa preveč močno absorbirajo infrardečo (IR) svetlobo, da bi jih analizirali s transmisivsko 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 intenzivnejši 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) (sliki 3 in 4).

Vertikalni liniji I in II (slika 5) označujeta vibracijske trakove, 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 2 in 3) aktivacijskih energij različnih parov vzorcev, staranih na različne načine. Tako je na primer 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 (2 in 3) aktivacijsko energijo 50,119 kJ/mol (preglednica 1, 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 1, 10. kriterij). Ostali, preveč degradirani vzorci pa nudijo neadekvatne (prevelike ali premajhne) vrednosti za aktivacijsko energijo, še posebej, če te vrednosti



Slika 5 • Spektralna analiza staranja bitumenskega traku iz oksidiranih bitumnov (območje od 2000 do 650 cm^{-1}). IR-spektri vzorcev ustrezajo trefiranju 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, temnomodra krivulja) in vzorec 58 (nestaran vzorec, svetlomodra krivulja)

primerjamo z aktivacijskimi vrednostmi, dobljenimi iz primerjave mehanskih lastnosti vzorcev. Pregled IR-spektrov ostalih, prekomerno starih 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.

3 • POSPEŠENO STARANJE BITUMENSKIH TRAKOV

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

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

$$e^{-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = e^{-\frac{E_a}{R} \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}} \quad (1)$$

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)

E_a aktivacijska energija (J mol^{-1})

R plinska konstanta ($8,314472 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

2.3 Določitev mejne vrednosti funkcionalnosti

Smatramo, da je primarna funkcija in najpomembnejša zahteva bitumenskih trakov 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 kot kriterij 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 pri temperaturah: $-4 \text{ }^\circ\text{C}$, $+/-0 \text{ }^\circ\text{C}$, $+4 \text{ }^\circ\text{C}$, $+5 \text{ }^\circ\text{C}$, $+8 \text{ }^\circ\text{C}$, $+12 \text{ }^\circ\text{C}$ in $+15 \text{ }^\circ\text{C}$. Za popolno dotrajanost oziroma razpad izdelkov smo določili vrednosti upogljivosti pri nizkih temperaturah večje kot $+22 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 v skladu z zahtevami standardov SIST EN 13969, SIST EN 13707 in SIST 1031. Kot kriterij drugega postopka ugotavljanja dotrajanosti materiala smo izbrali spremembe v diagramih spektralnih analiz starih vzorcev bitumenskih trakov, kjer smatramo, da je izdelek pri pojavu znatnih sprememb v spektrografu dotrajan.

$$a_T = \frac{\tau_1}{\tau_2} = e^{-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (2)$$

$$E_a = \frac{R \ln a_T}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (3)$$

V skladu z enačbami (enačbe 1, 2 in 3) lahko s postopkom pospešenega staranja pri dveh ali več različnih temperaturah, temu seveda tudi posledično dveh ali več različnih časih izpostavljenosti, izračunamo aktivacijsko energijo. Ta nam služi kot izhodišče za določevanje življenjskih dob ob določeni temperaturni obremenitvi ali pa določevanje temperature uporabe za določeno časovno periodo izpostavljenosti.

Št.	Kriterij	Staranje pri nižji temperaturi			Staranje pri višji temperaturi			Aktivacijska energija E_a (kJ/mol)
		Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	
1	upogljivost pri -4 °C	70	63 & 64	10	90	21	3	62.376
2	upogljivost pri +/-0 °C	70	65 & 66	20	90	23	6	62.376
3	upogljivost pri +4 °C	80	44	16	90	25	9	61.355
4	upogljivost pri +4 °C	80	46	18	90	28	10	62.679
5	upogljivost pri +4 °C	70	69 & 70	29	90	25	9	60.619
6	upogljivost pri +4 °C	70	69 & 70	29	80	44	16	59.925
7	upogljivost pri +8 °C	80	48	21	90	36	14	43.237
8	upogljivost pri +8 °C	80	50	25	90	36	14	61.830
9	spektralna analiza	80	44	16	90	28	10	50.119
10	spektralna analiza	80	48	21	90	31	12	59.675
Povprečna vrednost: 58.419								

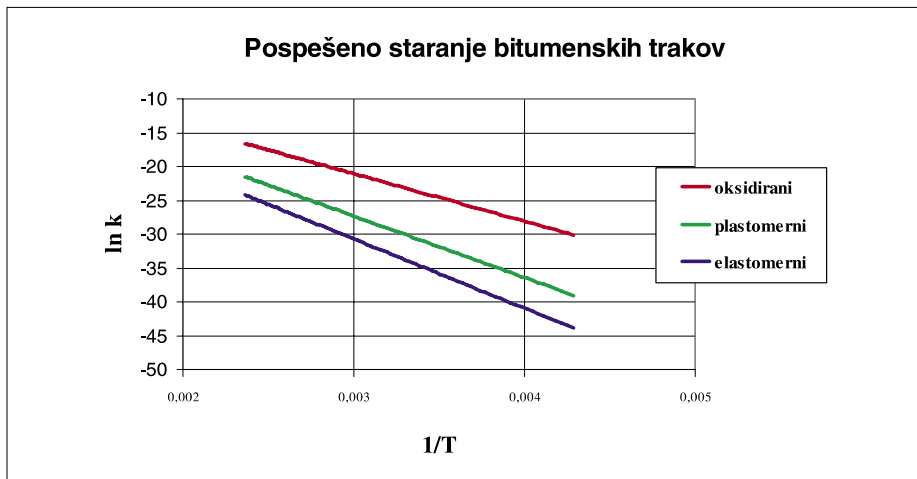
Preglednica 1 • Aktivacijska energija bitumenskega traku iz oksidiranih bitumnov

Št.	Kriterij	Staranje pri nižji temperaturi			Staranje pri višji temperaturi			Aktivacijska energija E_a (kJ/mol)
		Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	
1	upogljivost pri +12 °C	100	202	1	110	261	0,5	82.402
2	upogljivost pri +12 °C	100	203	2	110	262	1	82.402
3	upogljivost pri +15 °C	100	205	3	110	264	2	48.202
4	upogljivost pri +15 °C	100	206	5	110	264	2	108.929
5	upogljivost pri +15 °C	100	206	5	110	265	2,5	82.402
6	upogljivost pri +15 °C	100	206	5	110	266	3	60.727
7	upogljivost pri +15 °C	100	207	7	110	266	3	100.727
8	upogljivost pri +15 °C	100	207	7	110	267	5	40.000
Povprečna vrednost: 75.724								

Preglednica 2 • Aktivacijska energija bitumenskega traku, modificiranega s plastomernimi (APP) dodatki

Št.	Kriterij	Staranje pri nižji temperaturi			Staranje pri višji temperaturi			Aktivacijska energija E_a (kJ/mol)
		Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	Temp. (°C)	Vzorec štev.	Staranje (dni)	
1	upogljivost pri +/-0 °C	100	411	21	110	470	10	88.202
2	upogljivost pri +/-0 °C	100	411	21	110	471	12	66.527
3	upogljivost pri +/-0 °C	100	412	28	110	471	12	100.727
Povprečna vrednost: 85.152								

Preglednica 3 • Aktivacijska energija bitumenskega traku, modificiranega z elastomernimi (SBS) dodatki



Slika 6 • Pospešeno staranje bitumenskih trakov prikazano kot 'ln(k)' v odvisnosti od '1/T'

Iz tako pridobljenih rezultatov (preglednice 1, 2 in 3) razberemo, da je vrednost aktivacijskih energij za izdelke iz oksidiranih bitumnov ($E_a = 58,4$ kJ/mol) (Kunič, 2007), za izdelek iz plastomernih bitumnov ($E_a = 75,7$ kJ/mol) in za trakove, modificirane z elastomernimi dodatki ($E_a = 85,2$ kJ/mol). Iz tako dobljenih vrednosti aktivacijskih energij lahko predvidimo obnašanje izdelkov 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. Rezultate dobljenih aktivacijskih energij lahko prikažemo v skladu z Arrheniu-

staranje (tednov)	1*	2*	3*	5*	6	9	12	15	18	21	24
staranje (let)	0,019	0,038	0,058	0,096	0,115	0,173	0,231	0,288	0,346	0,404	0,462
oksidirani bitumen (°C)	133,1	117,4	108,8	98,5	94,9	87,3	82,0	78,1	74,9	72,3	70,0
plastomerni dodatki (°C)	116,7	105,4	99,2	91,6	88,9	83,2	79,2	76,2	73,8	71,7	70,0
elastomerni dodatki (°C)	101,8	94,4	90,1	85,0	83,2	79,2	76,5	74,4	72,7	71,2	70,0

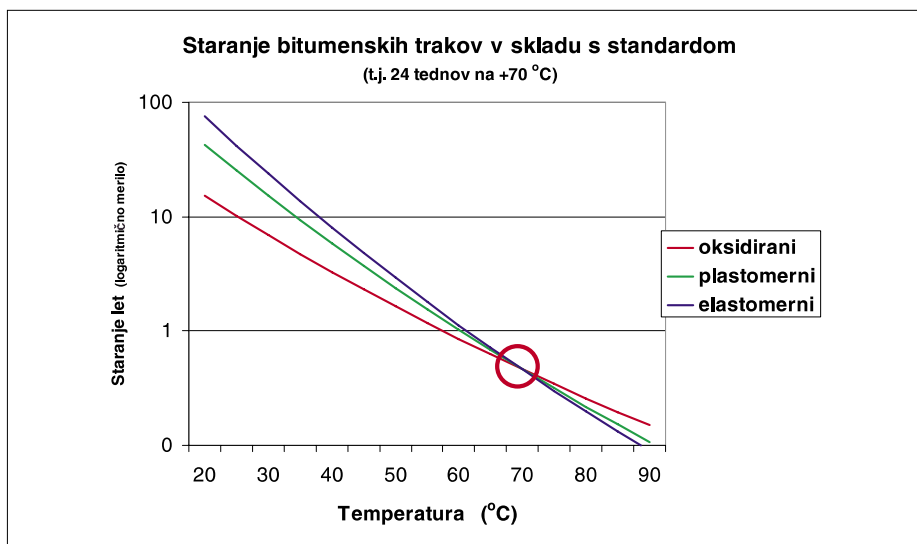
*Ker se dogajajo nepovratne poškodbe (kemijska razgradnja), bitumenskih izdelkov ne smemo dolgotrajno izpostaviti tako visokim temperaturam.

Preglednica 4 • Ekstrapolacija pospešenega staranja v skladu s standardom na krajša časovna obdobja

staranje (let)	0,462	1	2	3	5	8	10	12	15*	20*
oksidirani bitumen (°C)	70,0	57,5	47,1	41,3	34,2	28,0	25,2	22,9	20,1	16,7
plastomerni dodatki (°C)	70,0	60,3	52,0	47,4	41,7	36,7	34,4	32,5	30,2	27,3
elastomerni dodatki (°C)	70,0	63,1	57,1	53,7	49,5	45,7	44,0	42,6	40,9	38,7

*Vprašljiva je natančnost ekstrapolacije na tako dolge življenjske dobe staranja.

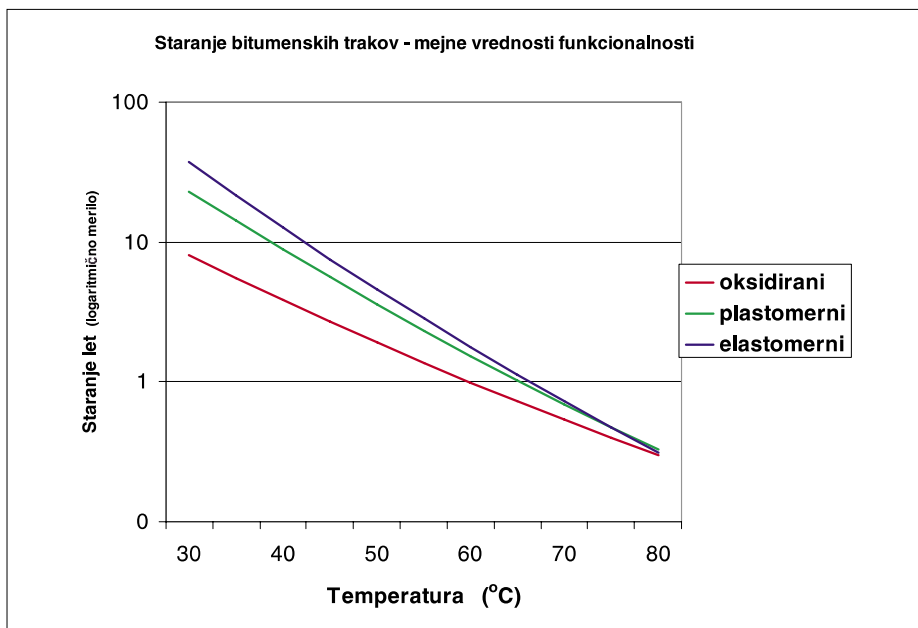
Preglednica 5 • Ekstrapolacija pospešenega staranja v skladu s standardom na daljša časovna obdobja



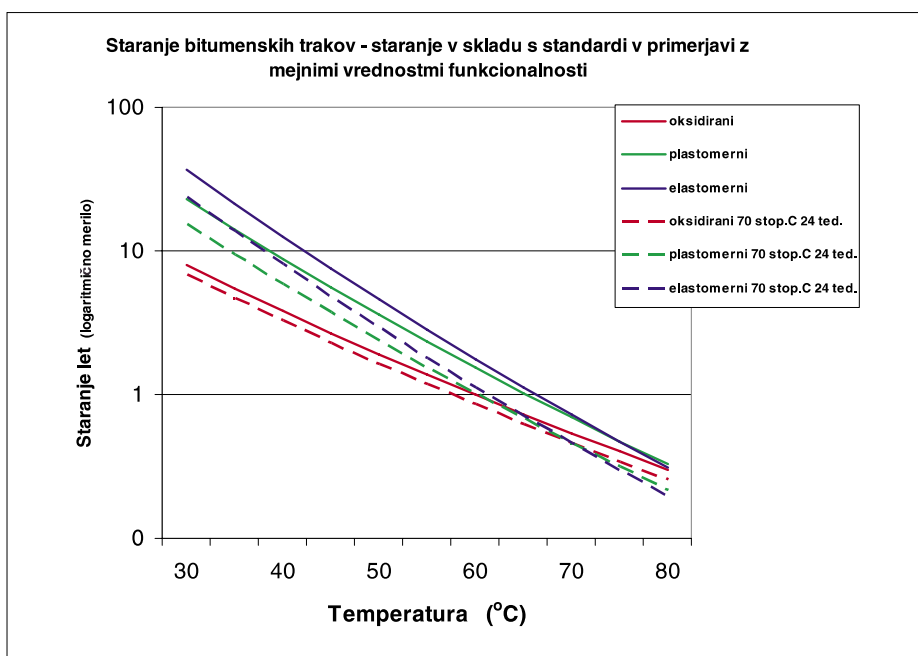
Slika 7 • Staranje bitumenskih trakov odvisnosti od temperature v skladu s standardom (temperatura 70 °C in časovno obdobje 24 tednov)

sovim zakonom v grafični obliki, to je z diagramom ln(k) v odvisnosti od 1/T (slika 6). Podobno lahko izvedemo, v skladu s teorijo pospešenega staranja, tudi ekstrapolacijo na daljšo dobo izpostavljenosti.

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 4), potem bi morali za skrajšano obdobje 12 tednov dvigniti temperaturo staranja na +82,0 °C za bitumenski trak iz oksidiranih bitumnov (Kunič, 2007), na 79,2 °C za trakove iz plastomernih bitumnov in na 76,5 °C za trakove iz elastomernih bitumnov, za obdobje 9 tednov na 87,3 °C za oksidirane bitumne (Kunič, 2007), na 83,2 °C za plastomerne bitumne in na 79,2 °C za elastomerne bitumne in za obdobje 6 tednov bi morali za isti vpliv na staranje izdelek iz



Slika 8 • Staranje bitumenskih trakov v odvisnosti od temperature – mejne vrednosti funkcionalnosti



Slika 9 • Staranje bitumenskih trakov odvisnosti od temperature v skladu s standardom (temperatura 70 °C in časovno obdobje 24 tednov)

oksidiranih bitumnov izpostaviti temperaturi 94,9 °C, plastomerne bitumne temperaturi 88,9 °C in elastomerne bitumne 83,2 °C, ter bi na tak način povzročili enak vpliv na staranje bitumenskega traku, kakor jo predpisuje standard (tj. 24 tednov pri +70,0 °C).

Staranje v skladu s časi in temperaturami, navedenimi v preglednicah (preglednici 4 in 5), je takšno, da ne nastopi popolni raz-

pad izdelka oziroma konec življenjske dobe, razen v primerih izredno visokih temperatur, ko nastopijo takšne poškodbe različnih sestav bitumnov, ki prevedejo do nepovratnih sprememb ali do kemijske razgradnje. S kombinacijo dobe staranja in njej pripadajoče temperature (preglednici 4 in 5) 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 °C in čas trajanja 24 tednov.

Iz tako dobljenih rezultatov, to je z eksperimentom pospešenega staranja in Arrheniusove teorije dobljene aktivacijske energije in na podlagi tega posledično izračunanimi časi in temperature staranja (preglednica 4 in 5), lahko izrišemo diagram (slika 7), ki prikazuje pričakovano staranje oziroma stopnjo degradacije v odvisnosti od temperature staranja. Na omenjeni sliki je posebej označeno področje sekanja vseh treh krivulj, to so pogoji staranja, predpisani s standardom (temperatura 70 °C in trajanje 24 tednov). Če pa potujemo po posamezni krivulji, za določeno kvaliteto izdelka (bitumni iz oksidiranih ali s pomočjo polimerov modificiranih bitumnov) dosegamo stopnje staranja oziroma degradacije, ekvivalentne zahtevam po standardu.

Iz meritev staranja bitumenskih trakov, sestavljenih iz oksidiranih bitumnov ali iz polimernih dodatkov (plastomernimi APP ali elastomernimi SBS) modificiranih bitumnov, pri različnih temperaturah in po različnih časih, smo lahko določili dotrajanost posameznih vzorcev. Iz teh podatkov lahko določimo mejne vrednosti obremenitve ob določeni temperaturi in določenem času, ki še zagotavljajo mejno vrednost funkcionalnosti izdelka (slika 8).

Na sliki 9 so prikazane krivulje staranja bitumenskih trakov (iz oksidirane in s polimernimi dodatki modificirani bitumni: APP in SBS) tako v skladu s staranjem po standardu (prekinjene črte, torej iste vrednosti kot jih prikazuje slika 7) in staranjem do mejne vrednosti funkcionalnosti istih bitumenskih izdelkov (polne črte, prikazane tudi na sliki 8). Razlika med krivuljami staranja v skladu s standardom in mejne vrednosti funkcionalnosti je sledeča: bitumenske trakove iz oksidiranih bitumnov lahko izpostavimo 17 %, s plastomernimi dodatki modificirane 66 % in z elastomernimi dodatki modificirane 54 % daljšemu času, kot ga predpisuje standard (SIST EN 1296 in SIST EN 1297), da bi dosegli mejno funkcionalnost izdelka.

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.

4 • SKLEP

Z meritvami pospešenega staranja ob povišani temperaturi bitumenskih trakov in teoretično osnovo Arrheniusove enačbe smo dobili aktivacijsko energijo za bitumenske trakove iz oksidiranih bitumnov 58,4 kJ/mol,

za trakove iz bitumnov, modificiranih s plastomernimi dodatki, 75,7 kJ/mol, in s plastomernimi dodatku 85,2 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 izdelke iz oksidiranih bitumnov izpostaviti temperaturi +82,0 °C, bitumenske trakove iz plastomernih dodatkov +79,2 °C in trakove iz elastomernih dodatkov +76,5 °C, da bi dosegli isti vpliv staranja bitumenskih trakov, kakor ga predpisuje standard.

5 • LITERATURA

- Carlsson, B. T., Möller, K., Ch. Marechal, J., Köhl, M., Heck, M., Brunold, S., Jorgensen, G., General Methodology of Test Procedures for Assessment of Durability and Service Life, FMEA Research for and Application to the Building Domain, 2001.
- Carlsson, B., Möller, K., Köhl, M., Brunold, S., Frei, U., Marechal, J. C., Jorgensen, G., The Applicability Of Accelerated Life Testing For Assessment Of Service Life Of Solar Thermal Components, Elsevier, 255–274, 2004.
- Ješe, R., Strukturne in spektroskopske lastnosti materialov v iono-optičnih sistemih, doktorska disertacija, Ljubljana, 2006.
- Köhl, M., Carlsson, B., Jorgensen, G., Czanderna, A.W., Performance and Durability Assessment, Optical Materials for Solar Thermal Systems, Elsevier B.V., The Netherlands, 2004, ISBN 0-08-044401-6, 395 str., 2004.
- Kunič, R. Načrtovanje vrednotenja vpliva pospešenega staranja bitumenskih trakov na konstrukcijske sklope, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katetra za stavbarstvo in konstrukcijske elemente, Jamova 2, Ljubljana, 2007.
- SIST 1031 – Hidroizolacijski takovi – Bitumenski hidroizolacijski trakovi – Zahteve, Flexible sheets for waterproofing – Bitumen sheets for waterproofing – Requirements, 2006.
- SIST EN 1109: 2000, Hidroizolacijski trakovi – Bitumenski trakovi za tesnjenje streh – Določevanje upogljivosti pri nizkih temperaturah.
- 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 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.