

Sl. 78. Lokomobilski parni stroj na pregrijanu paru

Lokomotivski parni stroj s Heusingerovim razvodom na industrijskoj lokomotivi bez vatre prikazan je na sl. 77, a lokomobilski parni stroj jednog stacionarnog postrojenja prikazan je na sl. 78. Takvi se lokomobili nazivaju polulokomobilima za razliku od lokomobila koji se kreću.

Dalji razvoj parnih strojeva

Na kraju XIX st. i u prvoj četvrtini XX st. u Evropi je još bilo više od 50 velikih tvornica parnih strojeva. Od toga vremena gradnja parnih strojeva naglo opada jer se parni strojevi sve manje upotrebljavaju. Do danas su stacionarne parne stupne strojeve već potpuno zamjenili drugi pogonski strojevi, kao što su Dieselovi motori, turbine i sl. Parni stupni strojevi zadržali su se još uglavnom na parnim lokomotivama, ali njih je svakim danom sve manje.

Gotovo nema nade za dalji razvoj parnih strojeva jer će se oni najvjerojatnije zadržati samo na lokomotivama bez vatre, a tu se neki razvoj niti ne očekuje, kao ni tamo gdje se parni stupni stroj zadržao iz razloga što mu je vijek trajanja dug (50 do 70 godina i više), a investicijski su troškovi za njegovu zamjenu modernijim strojem preveliki.

LIT.: R. Grassmann, Anleitung zur Berechnung einer Dampfmaschine. Springer-Verlag, Berlin 1924. — M. F. Gutermuth, Die Dampfmaschine I u. II. Springer-Verlag, Berlin 1928. — A. Stevović, Parne mašine. Državna štamparija Kraljevine Jugoslavije, Beograd 1933. — G. Puschmann, Die Kolbendampfmaschinen. Dr. Max Jänecke Verlagsbuchhandlung, Leipzig 1942. — M. Obradović, Brodske parne mašine. Ministarstvo železnica, Odjeljenje za štampu i propagandu, Beograd 1949. — D. A. Low, Heat Engines. Longmans, Green and Co., London 1952. — H. Tieroff, Die Kolbendampfmaschine. Fachbuchverlag, Leipzig 1956. — A. B. Голынский, Судовые паровые машины. Морской транспорт, Ленинград 1958. — I. Turk, Nauka o toplini. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb 1976. — F. Bošnjaković, Nauka o toplini I. Tehnička knjiga, Zagreb 1978.

J. Serdar

PATOLOGIJA I SANACIJA GRAĐEVINA.

Patologija građevina obuhvaća procese i stanja koji oštećuju konstrukcije i materijale zgrade i betonske konstrukcije; sanacijom se popravljaju oštećeni dijelovi građevina.

PATOLOGIJA I SANACIJA ZGRADA

Zgrada je sustav koji stari, koji se odupire vanjskim utjecajima i koji se prilagođuje uvjetima okoliša. Ako zgrada nema potrebnu otpornost prema vanjskim utjecajima i ako se ona ne može prilagoditi promjenama prilika u okolišu, ona se oštećuje i propada, pa joj se tako skraćuje vijek trajanja. Unutrašnje prostorije u zgradama formirane su pomoću obodnih i razdjelnih konstrukcija, a obodne konstrukcije se osim toga moraju oduprijeti vanjskim utjecajima i opterećenjima da se održi mikroklima unutrašnjih prostorija u poželjnem stanju. Zbog toga su obodne konstrukcije najviše izložene vanjskim utjecajima i najviše se oštećuju. Pod obodnim konstrukcijama razumijevaju se krovovi, fasade i konstrukcije u tlu.

Mnoge zgrade sačuvale su se do danas jer su njihove masivne obodne konstrukcije bile otporne prema vanjskim utjecajima. Današnja tehnologija građenja i novi materijali, međutim, omogućuju upotrebu laganih slojevitih konstrukcija sa stavljenih od različitih materijala koji imaju odredene funkcije u sustavu zgrade. Slojovita se konstrukcija sastoji od dvije osnovne strukture; primarne, nosive konstrukcije, koja preuzima sva mehanička opterećenja, i sekundarne, zaštitne konstrukcije, koja udovoljava svim ostalim zahtjevima koje moraju zadovoljiti obodne konstrukcije.

Oštećenja sekundarne strukture obodnih konstrukcija mnogo su češća nego oštećenja primarne strukture. Oštećenja sekundarne strukture povećavaju troškove održavanja, skraćuju vijek trajanja konstrukcije i smanjuju upotrebnu vrijednost zgrade. Oštećena obodna konstrukcija nema onu funkciju radi koje je i izgrađena, jer se tada ne održava mikroklima u prostorijama zgrade, jer su u njima nepovoljni zdravstveni uvjeti boravka, jer je povećana potrošnja energije za grijanje i jer je povećana mogućnost oštećenja nosive konstrukcije. Patologija obodnih konstrukcija ima prema tome i veliko ekonomsko značenje.

Uzroci oštećenja obodnih konstrukcija. Osim potresom, poplavom i požarom, obodne konstrukcije zgrada mogu biti oštećene: a) zbog neispravnog ili nepotpunog projekta, b) zbog neispravne ili nekvalitetne izvedbe i c) zbog neadekvatnog održavanja ili neodržavanja.

Uzroci oštećenja zbog neispravnog ili nepotpunog projekta. Izbor materijala i vrste konstrukcije, uskladišvanje s klimatskim prilikama i s lokacijom zgrade provodi se pri projektiranju zgrade prema njezinoj namjeni, planiranoj trajnosti i mikroklimi u prostorijama zgrade. Nepoznavanje tih uvjeta prilikom projektiranja uzrokovat će oštećenja tijekom upotrebe, koja se mogu pojavit u bilo kao oštećenje životnih uvjeta u zgradi bilo kao oštećenje obodne konstrukcije.

Uzroci takvih oštećenja mogu biti: a) nedovoljno poznavanje fizičkih i kemijskih svojstava građevnog materijala te zbog toga neadekvatna primjena i smještaj tih materijala u obodnoj konstrukciji ili elementu takve konstrukcije, b) nedovoljno dimenzioniranje slojeva materijala u konstrukciji zbog nepoznavanja njihovih svojstava i mehaničkih opterećenja koja djeluju na obodnu konstrukciju, c) nepoznavanje metoda za zaštitu materijala od korozije ili izbor sastava takvih materijala koji korodiraju u međusobnom kontaktu, d) nepoznavanje zakona provođenja topline kroz obodnu konstrukciju, nepoznavanje utjecaja temperature na materijale i konstrukciju, te nepoznavanje zaštite od utjecaja temperaturnih promjena, e) nepoznavanje zakona gibanja vlage kroz obodnu konstrukciju i utjecaja vlage na materijale u obodnoj konstrukciji, f) nepoznavanje vanjskih utjecaja (Sunčevo zračenje, oborine, vjetar, promjene temperature, zagadenost zraka) na građevne materijale, g) nepoznavanje fizičkih, kemijskih i bioloških procesa koji mogu nastati u građevinskom sustavu s obzirom na namjenu zgrade i na mikroklimu u prostorijama, h) neispravno tehničko rješenje građevnih detalja konstrukcije ili elementa, i) nedovoljno definiranje kvalitete materijala i načina ugradbe i j) projektno rješenje koje onemogućava održavanje konstrukcije i njenih elemenata tijekom upotrebe.

Uzroci oštećenja zbog neispravne i nekvalitetne izvedbe mogu biti sljedeći: a) nepoznavanje fizičkih i kemijskih svojstava upotrebljenih materijala koji nisu predviđeni projektom, jer se često zbog pomanjkanja na tržištu mora projektom predviđeni materijal zamijeniti drugim, b) ugradnja nekvalitetnih materijala, c) nepoštivanje projektom predviđenih dimenzija sastavnih dijelova slojevite konstrukcije, d) gradnja pri nepovoljnim atmosferskim prilikama, e) nekvalitetni prethodni i pripremni radovi (čišćenje i priprema materijala i podloga, uskladištenje materijala i elemenata), f) nepoštivanje projekta i projektom predviđene tehnologije građenja, g) mehaničko oštećivanje prethodno ugrađenih dijelova konstrukcije i h) neprovođenje zaštite od korozije dijelova konstrukcije za vrijeme uskladištenja i gradnje.

Uzroci oštećenja zbog neadekvatnog održavanja ili neodržavanja. Zgrade se projektiraju za određeni vijek trajanja, koji ovisi

o njihovoj namjeni, pa materijali građevnih konstrukcija i elementi tih konstrukcija moraju imati jednaki vijek trajanja kao zgrada, ili se već projektom mora predvidjeti zamjena onih dijelova konstrukcije koji imaju kraći vijek trajanja. Ako nije moguće provesti takve zamjene (neadekvatni projekt, nemar i sl.), konstrukcija će se oštetiti. Da bi se postigla potrebna trajnost obodnih konstrukcija, posebno je važno održavanje zaštitnih slojeva i elemenata (premazi, obloge, zaštitni limovi i sl.). Postoje specijalizirane radne organizacije za održavanje zgrada koje popravljaju i izmjenju dotrajale dijelove konstrukcije prije isteka njihova vijeka trajanja.

Vijek trajanja materijala ugrađenog u konstrukcije jest vrijeme u kojem, uz predviđene uvjete upotrebe, ne počinje propadanje djelovanjem agresivnih faktora okoliša. Tijekom vijeka trajanja materijal zadržava sva svojstva koja osiguravaju ispravnu funkciju. Propisi i normativi za održavanje stambenih zgrada određuju amortizacijske rokove i vijek trajanja pojedinih elemenata na temelju kojih se moraju izvršiti izmjene dotrajalih elemenata.

Toplinska stabilnost. Neispravno dimenzionirana ili neispravno (pa i djelomično neispravno) komponirana obodna konstrukcija smanjuje upotrebnu vrijednost prostorija koje omeđuje, iako konstrukcija nije oštećena. Takvo oštećenje prostorija zapaža se u prejaku zagrijavanju ljeti, u prevelikom odvođenju topline kroz obodne konstrukcije zimi, u stvaranju uvjeta za razvoj mikroorganizama i pljesni, u nedovoljnoj zaštiti od buke, te u smanjenju higijenskih i estetskih uvjeta iskorištenja prostorija.

Prostorije u zgradama prejako se zagrijavaju ljeti zbog toplinske nestabilnosti konstrukcije. Vanjske površine obodne konstrukcije ljeti se periodički zagrijavaju i hладе zbog promjene temperature okolišnog zraka i zbog neposredne insolacije. Prolazom topline kroz obodnu konstrukciju smanjuju se temperaturne amplitude, pa su ljeti temperature na unutrašnjim površinama niže nego na vanjskim. Veće ili manje prigušenje temperature ovisi o sastavu konstrukcije i o svojstvima materijala u slojevima konstrukcije. Temperatura unutrašnjih površina obodne konstrukcije mijenja se prema temperaturi vanjskih površina, ali s vremenskim zakašnjnjem. To se zakašnjnjenje naziva vremenski pomak faze temperaturne amplitude.

Prigušenje i vremenski pomak faze temperaturne amplitude karakteristike su kojima je određena toplinska stabilnost konstrukcije. Što je veće prigušenje i što je veći vremenski pomak temperaturne amplitude, to je konstrukcija toplinski stabilnija, pa se prostorije omeđene takvom konstrukcijom ljeti sporije i slabije zagrijavaju. Za ravne krovove dopušta se pomak temperaturne amplitude od 10 sati, a za zidove 6–8 sati.

Postupak proračuna za određivanje prigušenja i vremenskog pomaka temperaturne amplitude određen je propisom JUS U.J5.530/1980-02-16, a granične vrijednosti tih veličina propisom JUS U.J5.600/1980-02-16.

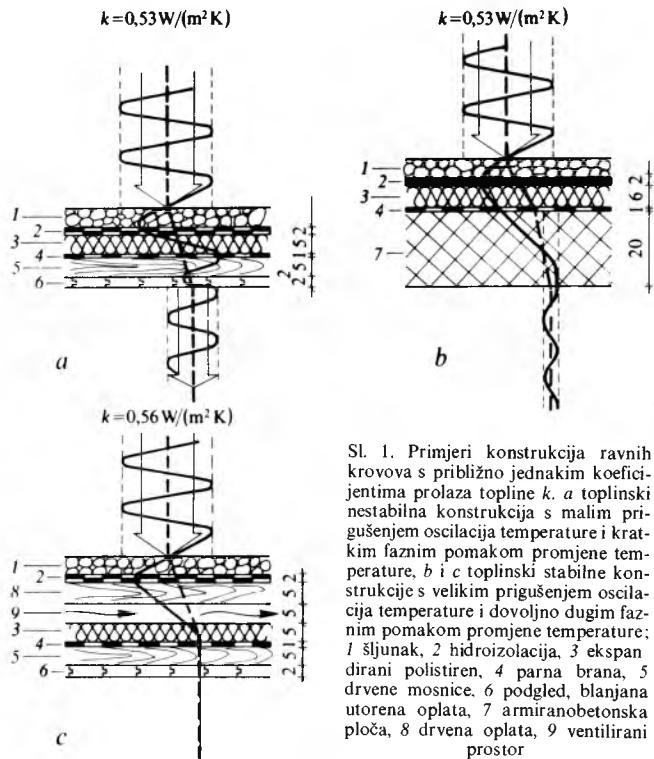
Ventilirane i masivne slojevite obodne konstrukcije u ljetnom su razdoblju toplinski stabilnije nego lagane neventilirane konstrukcije i onda kad one zadovoljavaju propisane uvjete s obzirom na toplinsku izolaciju (sl. 1). Obodne konstrukcije s malim prigušenjem i malim faznim pomakom amplituda temperatura ljeti smanjuju upotrebnu vrijednost prostorija koje zatvaraju.

Toplinska izolacija obodne konstrukcije karakterizira sposobnost konstrukcije da spriječi prolaz topline iz okoliša u prostoriju, odnosno iz prostorije u okoliš. Ona je određena koeficijentom prolaza topline (toplinskog prohodnošću) k (jedinica mu je $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$), koji se izračunava na temelju koeficijenata toplinske vodljivosti materijala (λ (toplinska provodnost)) λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$) od kojih je sastavljena obodna konstrukcija i na temelju koeficijenata prijelaza topline (toplinska prijelaznost) α ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$) kojim je određen prijelaz topline između vanjskog zraka i vanjskih ploha obodne konstrukcije (koeficijent α_0), te između unutrašnjeg zraka i unutrašnjih ploha obodne konstrukcije (koeficijent α_1) (v. Metrologija, zakonska, TE 8, str. 511; v. Termodinamika). Postupak proračuna koeficijenta prolaza topline k određen je propisom JUS U.J5.510/1980-02-16,

dok su vrijednosti koeficijenata toplinske vodljivosti materijala određene propisom JUS U.J5.600/1980-02-16.

Što je manji koeficijent prolaza topline k obodne konstrukcije, odnosno što je veći toplinski otpor konstrukcije, to je bolja toplinska izolacija prostorija.

Smatra se da je upotrebljena vrijednost prostorije smanjena (prostorija oštećena) ako zimi nastaju veliki gubici topline iz grijane prostorije kroz nedovoljno toplinski izoliranu ili neispravno izvedenu obodnu konstrukciju (niske temperature u grijanoj prostoriji, osjećaj neugode, povećanje troškova za grijanje).



Sl. 1. Primjeri konstrukcija ravnih krovova s približno jednakim koeficijentima prolaza topline k . a) toplinski nestabilni konstrukcija s malim prigušenjem oscilacija temperature i kratkim faznim pomakom promjene temperature, b) i toplinski stabilne konstrukcije s velikim prigušenjem oscilacija temperature i dovoljno dugim faznim pomakom promjene temperature; 1: šljunak, 2: hidroizolacija, 3: ekspan dirani polistiren, 4: parna brana, 5: drvene mosnice, 6: podgled, blanjana utvorena oplata, 7: amiranobetonska ploča, 8: drvena oplata, 9: ventilirani prostor

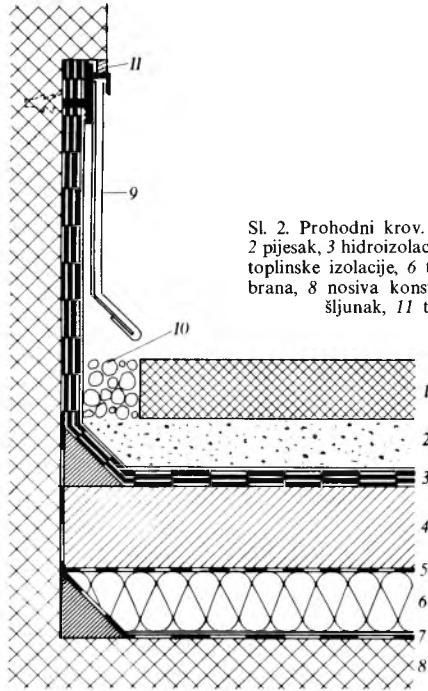
Toplinska izolacija obodne konstrukcije utječe na temperaturu unutrašnje površine. Povećanjem koeficijenta prolaza topline k , zbog nedovoljne termoizolacije obodne konstrukcije smanjuje se zimi temperatura unutrašnje površine, pa se događa da je ta temperatura niža od temperature rosišta zraka prostorije. (Rosište je temperatura zraka zasićenog vodenom parom.) Tada se dio vodene pare iz zraka kondenzira na hladnoj unutrašnjoj površini obodne konstrukcije. Vлага na tim površinama smanjuje higijenske uvjete u prostorijama i povećava mogućnost razvoja mikroorganizama i pljesni. Vлага, osim toga, može oštetiti konstrukciju. Slična oštećenja prostorija mogu se pojavitи zbog neispravne izolacije od vlage (hidroizolacije) dijelova konstrukcije u tlu. Tada vлага iz tla prodire u nadzemni dio konstrukcije i oštećuje prostor i konstrukciju.

Oštećenje krovova. Krov je gornji završni dio zgrade koji štiti zgradu od vanjskih utjecaja (oborine, insolacija, promjene temperature) i sprečava odvođenje topline. Krovovi mogu biti kosi i ravni (v. Krov, TE 7, str. 395).

Oštećenja kosih krovova nastaju najčešće na pokrovu i krovnim završecima. Popravak je tih elemenata moguć jer su pristupačni. Oštećenja nastaju zbog dotrajalosti materijala, neispravnog projekta i neispravne izvedbe završetaka i limarskih radova.

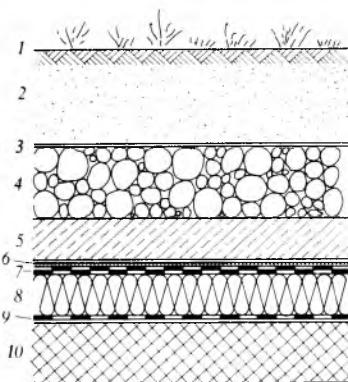
Oštećenja ravnih krovova mnogo su češća, pa je zbog toga potrebno poznavati funkciju pojedinih slojeva konstrukcije i vrste materijala u slojevima. Ravn krovovi grade se kao neventilirani (toplji, jednodijelni krovovi) i kao ventilirani krovovi (hladni, dvodijelni krovovi). Glavni su slojevi od kojih se sastoje ravn krovovi: nosiva konstrukcija, sloj kojim se osigurava pad za odvođenje vode (ako nosiva konstrukcija nije kosa), parna brana, toplinska izolacija, izolacija od vlage (hidroizolacija) i zaštitni sloj hidroizolacije.

Neventilirani ravni krovovi istodobno su obodna konstrukcija iznad najvišeg kata i krovna konstrukcija. Pojedini spojevi smješteni na nosivu konstrukciju dimenzionirani su tako da mogu preuzeti fizikalna opterećenja i s nosivom konstrukcijom čine kompaktnu cjelinu. Neventilirani ravni krovovi mogu biti *prohodni* (terase, sl. 2), *ozelenjeni* (sl. 3), *neprohodni* s toplinskom izolacijom ispod hidroizolacije (sl. 4) i neprohodni s toplinskom izolacijom iznad hidroizolacije (inverzni ravni krov, sl. 5).

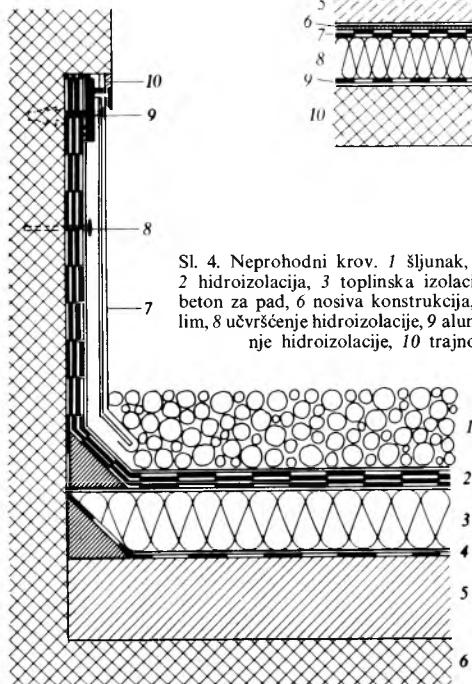


Sl. 2. Prohodni krov. 1 armiranobetonske ploče, 2 pijesak, 3 hidroizolacija, 4 beton za pad, 5 zaštita toplinske izolacije, 6 toplinska izolacija, 7 parna brana, 8 nosiva konstrukcija, 9 zaštitni lim, 10 šljunak, 11 trajno elastični kit

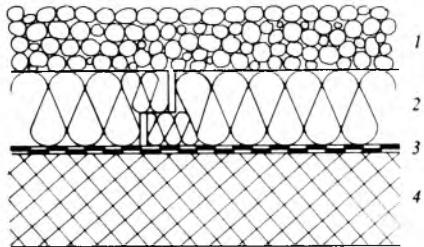
Ozelenjeni krov. 1 travu, 2 rahla zemlja 10–15 cm, 3 filter, 4 drenažni sloj, šljunak cca 7 cm, 5 zaštitni beton, 6 PE folija, 7 hidroizolacija, 8 toplinska izolacija, 9 parna brana, 10 nosiva konstrukcija



Sl. 3. Ozelenjeni krov. 1 travu, 2 rahla zemlja 10–15 cm, 3 filter, 4 drenažni sloj, šljunak cca 7 cm, 5 zaštitni beton, 6 PE folija, 7 hidroizolacija, 8 toplinska izolacija, 9 parna brana, 10 nosiva konstrukcija



Sl. 4. Neprohodni krov. 1 šljunak, zaštita hidroizolacije, 2 hidroizolacija, 3 toplinska izolacija, 4 parna brana, 5 beton za pad, 6 nosiva konstrukcija, 7 zaštitni aluminijski lim, 8 učvršćenje hidroizolacije, 9 aluminijski profil, učvršćenje hidroizolacije, 10 trajno elastični kit



Sl. 5. Inverzni neprohodni krov. 1 šljunak, zaštita hidroizolacije, 2 toplinska izolacija, 3 hidroizolacija, 4 nosiva konstrukcija

Parna brana u obodnim konstrukcijama sprečava difuziju vodene pare kroz konstrukciju. Kod određene temperature zrak može sadržavati samo točno određenu najveću količinu vodene pare pripadnog najvećeg parcijalnog tlaka (tlak zasićenja), a temperatura na kojoj zrak određene vlažnosti postaje zasićen zove se *rosište*. Što je viša temperatura zraka, to je veći tlak zasićenja, odnosno veća je maksimalna moguća količina vodene pare u zraku. Zrak najčešće nije zasićen vodenom parom, pa je i njezin parcijalni tlak manji od tlaka zasićenja. Relativna vlažnost zraka omjer je parcijalnog tlaka vodene pare u zraku kakav jest i maksimalno moguć tlak pri istoj temperaturi. Relativna vlažnost se obično izražava u postocima. Kad relativna vlažnost iznosi 100%, zrak je zasićen vodenom parom. Ako se zraku s određenom količinom vodene pare snižava temperatura do rosišta ili niže, smanjuje se maksimalno moguća količina vodene pare u zraku, pa se jedan njezin dio kondenzira u obliku rose. Ovisnost sadržaja vodene pare u zasićenom zraku o temperaturi zraka dana je u tabl. 1. Zbog razlike parcijalnih tlakova s obje strane obodne konstrukcije te zbog poroznosti i paropropusnosti materijala, vodena para difundira kroz konstrukciju. Ako difundirajući unutar konstrukcije postigne tlak zasićenja, kondenzirat će se dio vodene pare što može oštetiti konstrukciju. Da se to sprijeći, u konstrukciju se postavlja parna brana od paronepropusnih materijala. Otpor parne brane difuziji vodene pare je umnožak koeficijenta otpora difuziji vodene pare μ materijala parne brane i debljine d parne brane. Smatra se da je dovoljan otpor parne brane difuziji vodene pare ako je umnožak $\mu d > 100$ m, te ako je veći od otpora ostalih slojeva u konstrukciji. Koeficijent otpora difuziji vodene pare nekog materijala je broj koji pokazuje koliko je puta veći otpor nekog materijala difuziji vodene pare od otpora sloja zraka jednake debljine u jednakim uvjetima. Koeficijenti otpora difuziji vodene pare građevinskih materijala propisani su JUS U.J.5.600.

Za parne brane najčešće se upotrebljavaju: bitumenske trake s uloškom od aluminijske folije debljine 0,1 mm, odnosno 0,2 mm ($\mu = 100\,000$, odnosno $\mu = 150\,000$), polietilenske folije ($\mu = 80\,000$), poliizobutilenске trake ($\mu = 300\,000$). Materijal se izabire prema predviđenoj mikroklimi prostorija i prema površini krova.

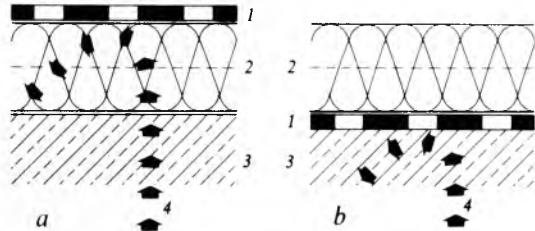
Ako je koeficijent otpora difuziji vodene pare μ malen, ili ako je manji od koeficijenta otpora sloja koji služi kao zaštita

Tablica 1
SADRŽAJ VODENE PARE U ZASIĆENOM ZRAKU

Temperatura zraka °C	Vlažni udjel g/kg	Apsolutna vlažnost g/m³	Tlok zasićenja vodene pare kPa
-40	0,007	0,115	
-30	0,232	0,332	
-20	0,641	0,881	0,103
-10	1,618	2,136	0,260
0	3,822	4,855	0,610
10	7,727	9,391	1,227
20	14,88	17,27	2,337
30	27,55	30,32	4,243
40	49,52	51,04	7,372
50	87,52	82,72	12,332
60	154,7	129,6	19,865
70	281,5	196,8	31,064

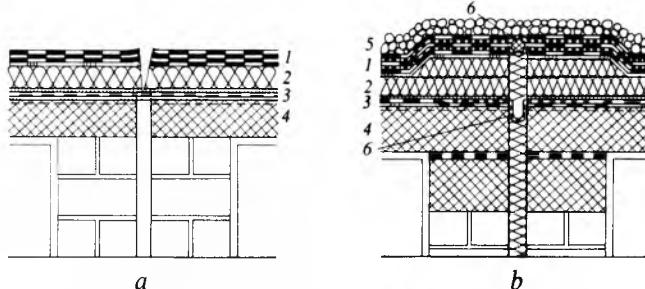
od vlage, konstrukcija nije ispravno dimenzionirana, pa će se s vremenom konstrukcija navlažiti i oštetiti.

Nepostojanje parne brane ili neispravno projektirana parna brana uzrokuje oštećenje toplinske izolacije zbog toga što će postojati mogućnost kondenzacije vodene pare u materijalu toplinske izolacije (sl. 6). Navlaženi materijal toplinske izolacije gubi toplinskoizolacijska svojstva i ne djeluje više kao toplinska izolacija, pa je konstrukcija oštećena.



Sl. 6. Položaj parne brane u konstrukciji, difuzija vodene pare.
a neispravno, b ispravno; 1 parna brana, 2 toplinska izolacija,
3 konstrukcija, 4 put vodene pare

Dilatacijske reške konstrukcije i parne brane moraju se tako projektirati da parna brana ne puca na dilatacijskoj reški (sl. 7). Parna se brana mora zbog toga postaviti na čvrstu podlogu u konstrukciji.



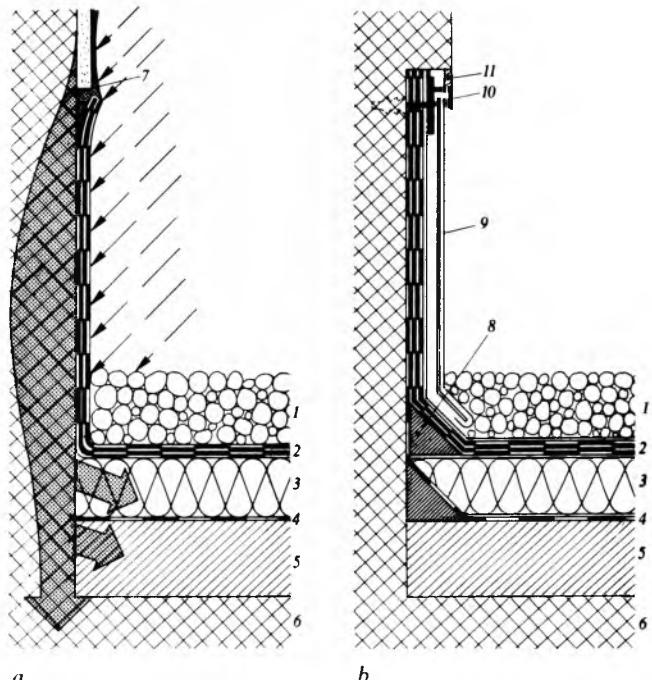
Sl. 7. Izvedba parne brane na dilatacijskoj reški. a neispravno, b ispravno;
1 hidroizolacija, 2 toplinska izolacija, 3 parna brana, 4 nosiva konstrukcija,
5 šljunak, zaštita hidroizolacije, 6 dilatacijska traka

Neispravna izvedba završetka parne brane (sl. 8) može oštetiti konstrukciju ravnog krova. To vrijedi i za neispravnu izvedbu preklopa i savijanja na podnožju. Prijevoji moraju biti kosi (sl. 2 i 4). Neispravna izvedba vodolovnih grla može uzrokovati prodror vode ispod parne brane. Zbog toga se moraju ugrađivati vodolovna grla s dvostrukim grlom (sl. 9).

Parna brana ne smije ostati nezaštićena i izložena atmosferskim utjecajima jer za njih nije dimenzionirana. Osim toga, tako postavljena parna brana može se mehanički oštetiti. Ošte-

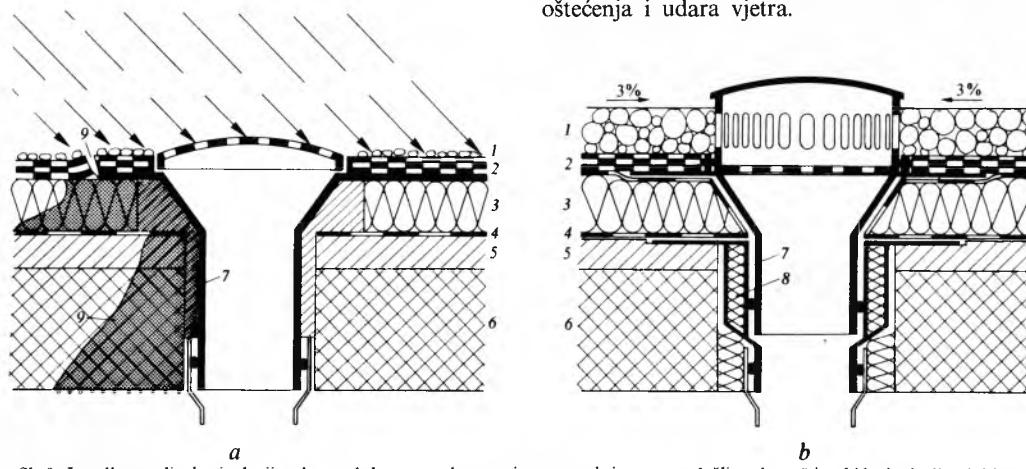
ćena parna brana ne može obavljati svoj rad, pa je treba izmjeniti već za vrijeme građenja.

Toplinski izolacijski materijal ima zadatak da smanji provođenje topline kroz krovnu konstrukciju, da onemogući kondenzaciju vodene pare na unutarnjem dijelu konstrukcije i da zaštititi nosivu konstrukciju od utjecaja promjene temperature. Taj zadatok određuje potrebna svojstva materijala za toplinsku izolaciju i njegov položaj u konstrukciji.



Sl. 8. Izvedba parne brane na završetku. a neispravno, b ispravno; 1 šljunak, zaštita hidroizolacije, 2 hidroizolacija, 3 toplinska izolacija, 4 parna brana, 5 beton za pad, 6 nosiva konstrukcija, 7 prodror vode, 8 drvena trokutna letvica, 9 zaštitni lim, 10 aluminiski profil, učvršćenje hidroizolacije, 11 trajno elastični kit

Osnovnim potrebnim zahtjevima koji moraju biti zadovoljeni (tabl. 2) udovoljavaju sljedeći materijali za toplinsku izolaciju: ekspandirani polistiren (EP) pjena fenolformaldehidne (PF) smole, poliuretanska (PUR) pjena, ureaformaldehidna (UF) pjena, pjena polivinilklorida (PVC), staklena pjena, mineralna (kamenka i staklena) vuna, pjenobetoni, plinobetoni, pluto, ploče od trstike, prešane slame i drvene vune. Za inverzne krovove, kad se toplinska izolacija nalazi iznad hidroizolacije (sl. 5), materijal za toplinsku izolaciju mora, osim svojstava navedenih u tabl. 2, biti vodonepropustan i otporan na širenje požara. Osim toga, mora se sloj toplinske izolacije zaštiti od mehaničkih oštećenja i udara vjetra.



Sl. 9. Izvedba toplinske izolacije oko vodolovnog grla. a neispravno, b ispravno; 1 šljunak, zaštita hidroizolacije, 2 hidroizolacija, 3 toplinska izolacija, 4 parna brana, 5 beton za pad, 6 nosiva konstrukcija, 7 vodolovno grlo, 8 toplinska izolacija vodolovnog grla, 9 prodror vode

PATOLOGIJA I SANACIJA GRAĐEVINA

Tablica 2
OSNOVNI POTREBNI UVJETI KVALITETE TERMOIZOLACIJSKIH MATERIJALA ZA RAVNE KROVOVE

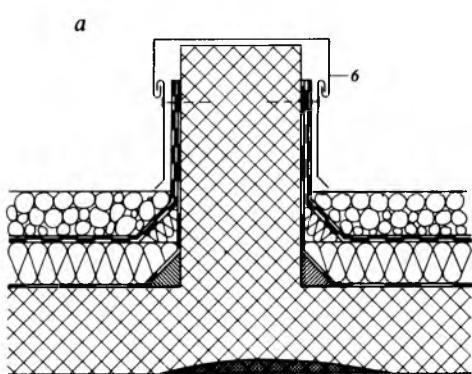
Svojstvo materijala	Mjera	Uvjet kvalitete
Naprezanje pod tlakom uz deformacije od 10%	N cm ⁻²	≥ 20
Postojanost svojstava u rasponu temperatura	°C	-20 do +80
Koeficijent toplinske vodljivosti λ	W m ⁻¹ K ⁻¹	0,02 do 0,15
Koeficijent toplinskog izduženja α_t	mm m ⁻¹ na 100 °C	0,05 do 6
Dimenzionalna stabilnost nakon odležnosti 30 dana	mm m ⁻¹	0,00

Oštećenja uzrokovana neispravnim projektom. Nedovoljno dimenzionirana toplinska izolacija (sl. 10) ili neispravni redoslijed slojeva uzrokuje kondenzaciju vodene pare u unutrašnjosti konstrukcije. Zbog različitog rastezanja toplinski zaštićenog i toplinski nezaštićenog dijela konstrukcije nastaju pukotine (sl. 11). Zbog pomanjkanja toplinske izolacije uz vodolovnu grlu i krovne rigole, kondenzira se vodena para na hladnijim ploham (sl. 12). Iznad dilatacijskih rešaka nosive konstrukcije mora se predvidjeti dilatacijska spojnica u materijalu za toplinsku izolaciju (sl. 7).

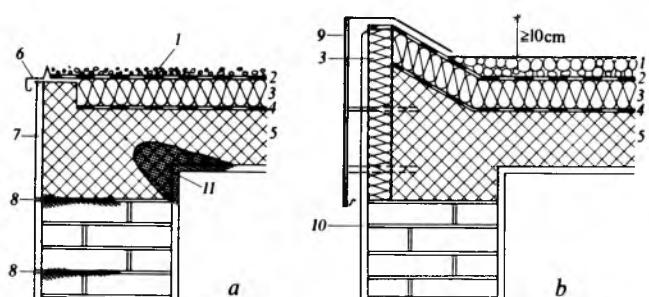
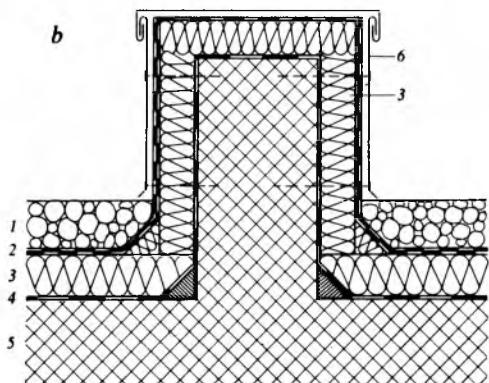
đuje na zgradu (npr. pjenobeton), potrebno je predvidjeti dilatacijske reške (udaljenost među reškama i njihova širina određene su svojstvima materijala). Navlaženje materijala za toplinsku izolaciju skoro potpuno smanjuje izolacijska svojstva materijala. Sloj za toplinsku izolaciju može se navlažiti za vrijeme gradnje (oborine), kad se betonira sloj za osiguranje pada iznad sloja termoizolacije (tada je potrebno zaštititi toplinsku izolaciju hidroizolacijskim slojem) i kad su neispravno izvedeni krovni završeci i vodolovna grla (sl. 8 i 9).

Hidroizolacija ravnog krova sprečava prođor oborinske vode u konstrukciju i u prostorije. Djelotvornost takve zaštite ovisi o svojstvima materijala koji je najviše izložen utjecaju promjena temperature. Taj materijal mora biti i mehanički otporan.

Pri projektiranju hidroizolacije nije dovoljno pridržavati se postojećih standarda kojima se propisuje kvaliteta materijala za hidroizolaciju. Osim vodonepropusnosti kao osnovnog svojstva, materijal za hidroizolaciju ovisno o lokaciji objekta i klimatskim uvjetima mora biti postojan u temperaturnom području od -20 do +80 °C (prema propisima JUS materijal se ispituje na temperaturi od -10 °C). Mehanička otpornost materijala, uključujući čvrstoću na kidanje i sposobnost istezanja, mora biti osigurana u istom temperaturnom rasponu i u suhom i u vodom zasićenom stanju (JUS propisuje ispitivanje na sobnoj temperaturi). Izolacijski materijal ne smije mijenjati svoja svojstva ni u vodom zasićenom stanju, a mora zadržati svoje tehničke karakteristike za vrijeme vijeka trajanja krovne konstrukcije.



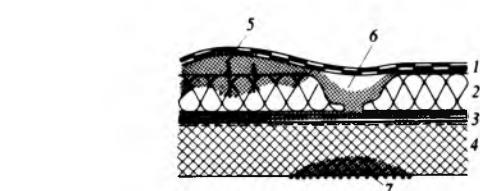
Sl. 10. Izvedba toplinske izolacije oko povišenja na ravnem krovu. a) neispravno, b) ispravno; 1) šljunak, zaštitna izolacija, 2) hidroizolacija, 3) toplinska izolacija, 4) parna brana, 5) nosiva konstrukcija, 6) zaštitni lim, 7) kondenzirana vodena para



Sl. 11. Izvedba toplinske izolacije na rubu ravnog krova. a) neispravno, b) ispravno; 1) šljunak, zaštitna hidroizolacija, 2) hidroizolacija, 3) toplinska izolacija, 4) parna brana, 5) nosiva konstrukcija, 6) rubni lim, 7) produžna fasadna žbuka, 8) pukotine, zbog toplinski nezaštićenog armiranog betona, serklaža, 9) pokrovni aluminijski lim, 10) hidrofobna žbuka s uloškom žičanog plétiva, 11) kondenzirana vodena para

Zbog nekvalitetne izvedbe mogu nastati mehanička oštećenja toplinske izolacije, što smanjuje izolacijsku vrijednost konstrukcije. Takva oštećenja omogućuju kondenzaciju vodene pare na unutrašnjoj hladnijoj plohi ispod oštećenog dijela toplinske izolacije (sl. 13). Materijal za toplinsku izolaciju u pločama treba postaviti s preklopom ili u dva sloja s najzmjeničnim sudarnim spojnicama. Ako se sloj za toplinsku izolaciju izra-

Sl. 12. Toplinska izolacija oko položenog žljeba na ravnem krovu. a) neispravno, b) ispravno; 1) šljunak, zaštitna hidroizolacija, 2) hidroizolacija, 3) toplinska izolacija, 4) parna brana, 5) beton za pad, 6) nosiva konstrukcija, 7) žljeb, 8) kondenzirana vodena para



Sl. 13. Oštećenja konstrukcije nastala zbog mehanički oštećene hidroizolacije. 1) oštećena hidroizolacija, 2) toplinska izolacija, 3) parna brana, 4) konstrukcija, 5) kondenzacija i djelovanje vodene pare ispod hidroizolacije, 6) mehaničko oštećenje toplinske izolacije, 7) kondenzacija vodene pare

Za hidroizolaciju ravnih krovova najviše se primjenjuju bitumenska hidroizolacija, sintetički hidroizolacijski materijali, metalne trake i limovi. Bitumenska hidroizolacija ravnih krovova obuhvaća bitumene, bitumenske trake s ulošcima od mineralnih materijala, sirovog kartona, jute i metalnih folija, te bitumenske mase. Bitumenizirane jute i bitumenom impregnirani kartoni ne preporučuju se za hidroizolaciju ravnih krovova. Količina bitumena na njima je mnogo manja nego na bitumenskim trakama, pa je njihova izdržljivost pod vodom manja, a manja im je i vlačna čvrstoća. Bitumenske trake polažu se u slojevima na sloj vrućeg bitumena. Koliko će biti slojeva traka, ovisno o nagibu krovne plohe, propisuje Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za ugljikovodične hidroizolacije krovova i terasa, Službeni list SFRJ 26/69. Isto toliko bitumenskih traka postavlja se kad se one međusobno zavaruju. Za krovne nagibe do 14% bitumenske se trake polažu u smjeru nagiba krova s preklopima od 10 cm. Unakrsno polaganje traka nije dozvoljeno zbog neravnomjernih naprezanja koja se pojavljuju u slojevima hidroizolacije. Zadnji je sloj bitumenske hidroizolacije premaz vrućim bitumenom ili bitumenskom masom. Hidroizolacija se mora zaštiti od mehaničkih udara, insolacije i požara.

Sintetički hidroizolacijski materijali proizvode se i ugrađuju kao folije, trake i premazi. Oni se upotrebljavaju kad se postavljaju posebni zahtjevi (profilacija krovne plohe, nemogućnost drukčije obradbe nekih arhitektonskih krovnih detalja, nepovoljne klimatske prilike, posebni kemijski utjecaji). Sintetičke hidroizolacijske folije, trake i premazi proizvode se na osnovi poliizobutilena, polivinilklorida, butila i kloroprena.

Oštećena hidroizolacija zbog neispravnog projekta. Zbog nedovoljnog broja bitumenskih traka (ovisno o nagibu) hidroizolacijski sloj brže propada i ima manju otpornost prema tlaku vode.

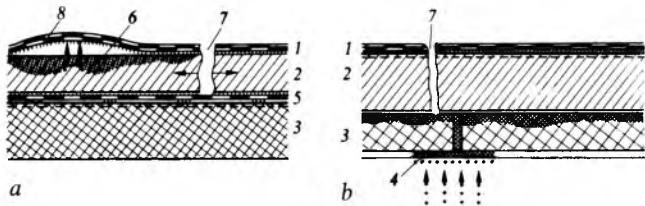
Ako ne postoji sloj koji razdvaja sloj hidroizolacije i podloge (sloj za izjednačenje tlakova), pojavljuju se veća naprezanja u hidroizolacijskom sloju, pa on puca i voda prodire u konstrukciju.

Kad ne postoje dilatacijske reške u hidroizolacijskom sloju, sloj puca zbog nemogućnosti istezanja.

Nezaštićena hidroizolacija izložena je velikim oscilacijama temperature, a postoji i veća mogućnost mehaničkog oštećenja. Zbog takvih naprezanja izolacijski sloj puca i voda prodire ispod njega. S povišenjem temperature zbog insolacije voda se sakupljena ispod izolacijskog sloja isparuje i podiže taj sloj. Istezanje na jednom dijelu napreže izolacijski sloj, pa se pojavljuje pukotina na drugom dijelu (sl. 14a). Zbog promjene temperature i naprezanja hidroizolacijskog sloja nastaju pukotine i u sloju koji služi kao podloga hidroizolaciji (toplinska izolacija, betonska podloga za osiguranje pada). Kroz pukotine u sloju toplinske izolacije prodire hladni zrak do toplinski nezaštićenog dijela konstrukcije, pa se tamo kondenzira vodena para iz zraka (sl. 14b).

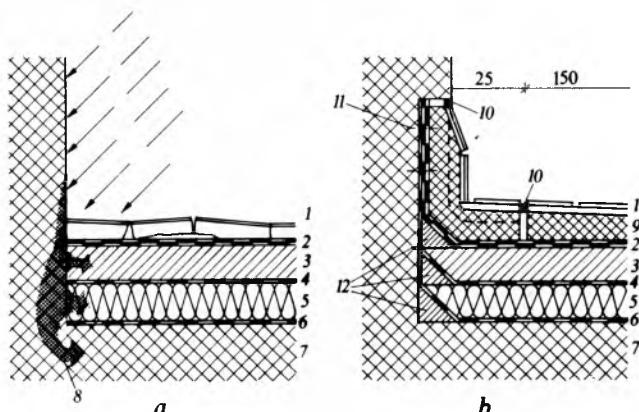
Dilatacijske spojnice nosive konstrukcije moraju biti provedene kroz cijelu konstrukciju, pa i kroz sloj hidroizolacije, jer će inače hidroizolacija pucati i voda prodrijeti u konstrukciju (sl. 7).

Na terasama, na kojima je zaštitni sloj iznad sloja hidroizolacije ujedno i hodna ploha, moraju se predvidjeti dilatacijske spojnice u podnoj oblozi na udaljenosti do 1,5 m, a od ruba krova na udaljenosti od 0,25 m (sl. 15).



Sl. 14. Oštećenja zbog nezaštićenosti hidroizolacije od insolacije. 1 hidroizolacija, 2 pjenobeton kao toplinska izolacija, 3 konstrukcija, 4 kondenzacija vodene pare, 5 parna brana, 6 kondenzacija ispod izolacije, 7 pukotina, 8 istezanje zbog djelovanja pare

Na prohodne ravne krovove, na kojima su betonske ploče položene u pijesak, treba nasuti sloj opranog pijeska (zrna 16-30 mm) debljine 4 cm i ploče veće od 40×40 cm. Ako se tako ne postupi, hodne ploče se različito opterećuju (posebno kad na njih djeluju koncentrirane sile), sitnija se zrna pijeska ispiru, pa hodna ploha postaje neravna i konačno se hidroizolacija mehanički oštetit.

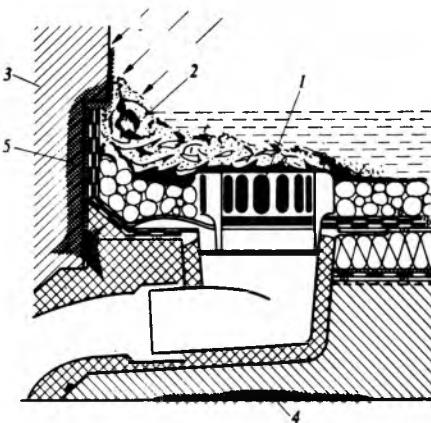


Sl. 15. Hidroizolacija uz rub terase. a neispravno, b ispravno; 1 keramite pločice u cementnom mortu, 2 hidroizolacija, 3 beton za pad, 4 zaštita toplinske izolacije, 5 toplinska izolacija, 6 parna brana, 7 nosiva konstrukcija, 8 prodr vode, 9 armiranobetonski namaz (estrih) 4 cm, 10 trajno elastični kit, 11 usidrenje, 12 trokutna drvena letva

Najčešće voda prodire u konstrukciju ravnog krova zbog neispravnih završetaka hidroizolacije i o njima često ovisi kvaliteta krovne konstrukcije. U vertikalnu plohu mora se također postaviti hidroizolacijski sloj, i to najmanje do visine od 20 cm. Ta izolacija mora biti ne samo zaliđena nego i dodatno pričvršćena na vertikalnu plohu (sl. 2 i 15). Pričvršćenje ovisi o vrsti izolacije. Ako se izolacija ne pričvrsti, ona će se s vremenom odlijepiti od podloge pa će voda prodrijeti ispod nje (sl. 8). Hidroizolacija se ne smije saviti pod pravim, nego pod tupim kutom (sl. 2 i 15).

Završeci sloja hidroizolacije na krovnom vijencu moraju biti izdignuti najmanje 10 cm iznad horizontalnog sloja (sl. 11). Završetak sloja osim lijepljenjem mora biti i dodatno pričvršćen na nosivu konstrukciju.

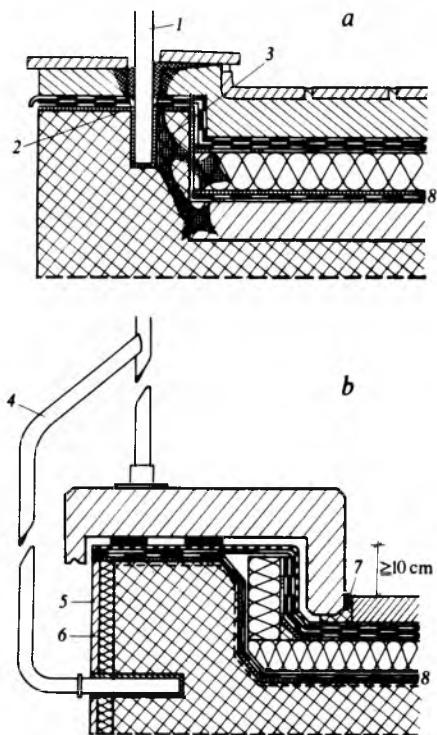
Vodolovno grlo i krovni rigoli moraju biti najmanje 1 m udaljeni od zidova i atika da bi se omogućila kvalitetna izvedba hidroizolacije oko grla i rigola i da bi se spriječilo sakupljanje smeća (sl. 16).



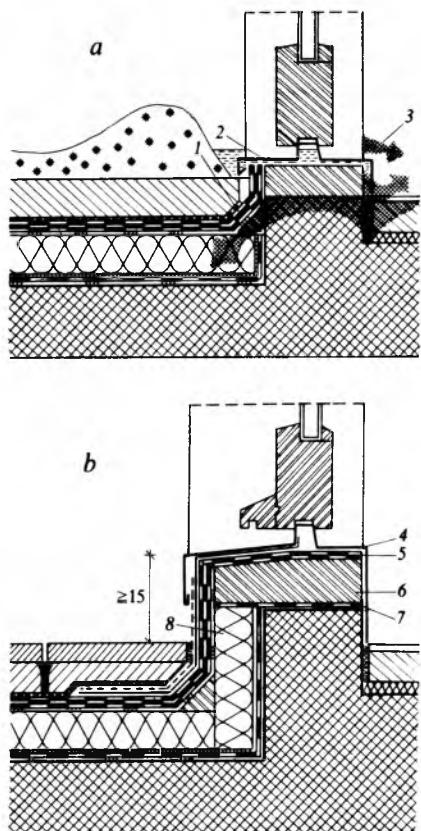
Sl. 16. Neispravan položaj vodolovnog grla kraj zida. 1 vodolovno grlo, 2 nakupine smeća, 3 zid, 4 kondenzirana vodena para, 5 prodr vode

Ograda terase ne smije prodirati kroz hidroizolacijski sloj (sl. 17).

Za izlaz na terasu postavlja se povučeni prag. Hidroizolacija se tada podiže iznad ravnine hodne plohe i podvlači se ispod praga (sl. 18).



Sl. 17. Postavljanje ograde na terasi. a) neispravno; b) ispravno; 1 ogorada, 2 probaj ograde kroz hidroizolaciju, 3 prodr vode, 4 ograda sidrena u serklaž, 5 hidrofobna žbuka, 6 toplinska izolacija, 7 trajno elastični kit, 8 parna brana



Sl. 18. Hidroizolacija oko praga. a) neispravno, b) ispravno; 1 hidroizolacija nije podvučena pod prag, 2 prag premalo uzdignut, 3 prodr vode, 4 pokrovni limeni prag, 5 hidroizolacija, 6 drveni prag, 7 parna brana, 8 toplinska izolacija

Oštećenje hidroizolacije zbog nekvalitetne izvedbe. Najčešće se oštećenja pojavljuju zbor nekvalitetno ugrađenog materijala.

Nekvalitetna priprema podloge (nije osiguran potreben nagib prema vodolovnom grlu) i neispravni spojevi hidroizolacijskih traka (spojevi su vodopropusni ili su izvedeni u smjeru suprotnom od nagiba krova) mogu biti uzrok oštećenja hidroizolacije. Uzrok tome su i mehanička oštećenja hidroizolacije za vrijeme gradnje i nepovoljni klimatski uvjeti za vrijeme postavljanja izolacije (oborinska voda ostaje u konstrukciji).

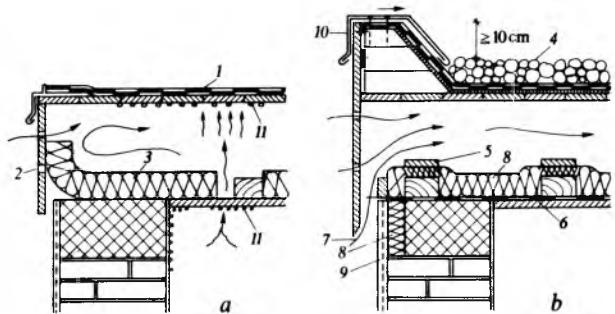
Oštećenje hidroizolacije zbog neodržavanja. Vijek je trajanja sintetičkih materijala za brtvenje spajnica i zaštitnih limova kraći od vijeka trajanja ostalih materijala u krovnoj konstrukciji. Zbog toga treba svakih 8–12 godina obnoviti brtvenje spajnica. Ako se to ne učini, voda će prodrijeti u konstrukciju.

Zaštitni limovi krovnih završetaka od pocićanog lima imaju kraći vijek trajanja od bakrenog ili aluminijskog lima. Krovni završeci od pocićanog lima moraju se izmjeniti svakih 8–15 godina, što ovisi o agresivnosti atmosfere. Zbog prisutnosti vlage i nejednolike strukture prevlake od cinka dovoljno je i malo oštećenje prevlake da nastanu mikrokorozijski galvanski članci između cincane prevlake i čeličnog lima. Voda na limu djeluje kao elektrolit pa se korozija brzo povećava.

Kad su začepljena vodolovna grla i žlebovi (lišće i smeće), voda se oko njih zadržava i prodire ispod hidroizolacijskog sloja. Čišćenje se mora izvršiti barem jedanput godišnje.

Ventilirani ravni krovovi imaju dva dijela. Vanjska konstrukcija nosi pokrov, a na unutrašnjoj konstrukciji, koja je ujedno i stropna konstrukcija, nalazi se parna brana i toplinska izolacija. Između tih dvaju dijelova nalazi se ventilirani međuprostor. Zbog malih nagiba za pokrov ventiliranih krovova upotrebljavaju se isti materijali kao za neventilirane ravne krovove. Oštećenja koja mogu nastati u parnoj brani, toplinskoj izolaciji i hidroizolaciji jednaka su onima na neventiliranim krovovima.

Specifična oštećenja ventiliranih krovova nastaju zbog nedovoljno dimenzioniranih i neispravno smještenih otvora za provjetravanje međuprostora (sl. 19). Zbog toga je zrak u međuprostoru zimi toplij od vanjskog zraka. Vanjska se konstrukcija s pokrovom zimi hlađi i na unutrašnjoj se plohi kondenzira vodena para. Kapljice vode padaju tada na toplinsku izolaciju stropne konstrukcije koju i oštećuju. Da bi se osiguralo dovoljno provjetravanje međuprostora, površina otvora mora biti veća od 2% površine krovišta, a otvori se moraju nalaziti na suprotnim stranama krovišta. Otvori za provjetravanje moraju biti takvi da onemoguće prodor oborine i prilaz pticama.



Sl. 19. Oštećenja ventiliranih krovova i njihova sanacija. a) neispravna izvedba; b) sanacija; 1 nezaštićena hidroizolacija, 2 nemogućnost zračenja, 3 neučvršćena toplinska izolacija, 4 šljunak, 5 zaštićena hidroizolacija, 6 pričvršćena toplinska izolacija, 7 parna brana, 8 ventilacija, 9 hidrofobna žbuka s uloškom od rabica, 10 zaštitni lim

Dio vodolovnih grla koji se nalazi u ventiliranom prostoru mora biti toplinski izoliran, da se ne bi na cijevima kondenzirala vodena para jer bi kapljice navlažile toplinsku izolaciju donjeg dijela konstrukcije.

Hidroizolacijski sloj mora biti zaštićen kao i na neventiliranim krovovima.

Fasada je obodna konstrukcija koja s bočne vanjske strane ograničuje prostorije. Fasade mogu biti pune (masivne stijene) i slojevite, a slojevite mogu biti ventilirane i neventilirane.

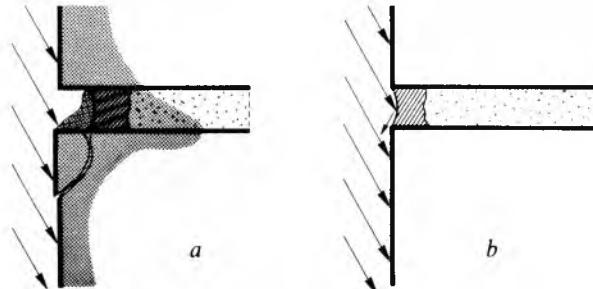
Oštećenja punih neožbukanih stijena. Pune masivne stijene preuzimaju i opterećenja ostalih konstrukcija. One moraju udo-

voljavati, osim zahtjeva nosivosti, i svim ostalim uvjetima zaštite obodne konstrukcije. Za pune stijene upotrebljavaju se različite vrste betona, drvo, opeka, kamen i blokovi od laka betona, koji su spojnim sredstvom vezani u cjelinu. Pune stijene od spomenutih materijala mogu biti i ispuna (nenosive stijene) između dijelova nosive konstrukcije (od armiranog betona, čelika ili drva). Zbog izloženosti fasada vanjskim utjecajima materijali masivnih stijena, ako ne postoji posebna vanjska zaštita, moraju biti otporni na te utjecaje.

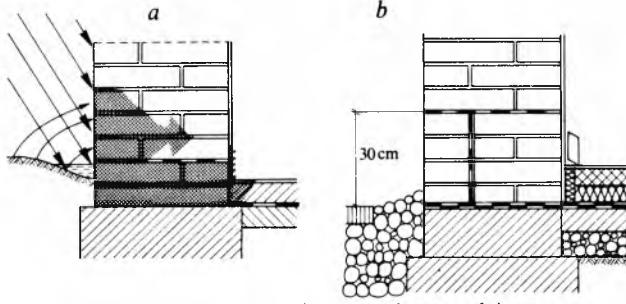
Ako debljina masivne stijene nije dovoljna, unutrašnja će se ploha navlažiti kad kiša uz vjetar udara na stijenu. Tada voda prodire kroz spojnice i kapilarnim transportom dopire do unutrašnje plohe. Zbog toga se masivne stijene u običnom mortu ne smiju zidati tanje od 30 cm iako su zadovoljeni uvjeti toplinske izolacije i nosivosti. Takve stijene moraju se zidati u hidrofobnom mortu.

Vanjske reške neožbukanih zidova ne smiju biti uvućene (sl. 20) da se ne bi u njima zadržavala voda koja bi prodirala u zid ili koja bi se zimi smrzla i tako oštećila konstrukciju.

Neispravna izvedba podnožja zida (sl. 21), krovnog vijenca, ležaja krovnih konstrukcija i otvora u stijeni oštećuju konstrukciju jer omogućuju prodror vlage.



Sl. 20. Reške neožbukanih zidova. a neispravno (uvućena reška), b ispravno (neuvućena reška)



Sl. 21. Podnožja masivnih zidova. a neispravno, b ispravno

Pukotine na zidu, kroz koje može prodrijeti vлага, nastaju kad se ugrađuje nenavlaženi materijal koji iz morta upija vodu za postizanje potrebne čvrstoće. Sve reške zida moraju biti potpuno ispunjene mortom, bez praznina i nečistoća.

Betonske stijene moraju biti homogene bez šupljina i segregiranog agregata, jer na takvim mjestima prodire voda u zid.

Upotreba materijala koji su neotporni na niskim temperaturama i nepostojani na vlaži izvor su oštećenja zidova. Tada vлага prodire u zid do unutrašnje plohe, a smrzavanje vode u zidu razara konstrukciju i smanjuje njezinu čvrstocu.

Oštećenje slojevitih fasada. Slojevite fasade mogu biti nosive, ili samo ispune između nosivih dijelova konstrukcije. Vanjska obloga štiti od vjetra i kiše, a ima i estetsku funkciju, toplinska izolacija sprečava prolaz topline iz okoliša u prostoriju i iz prostorije u okoliš, a unutrašnji sloj osigurava higijenske zahtjeve i izgled bočnih ploha prostorije. Između vanjske oblage i sloja toplinske izolacije može biti ventilirani sloj zraka (ventilirana fasada).

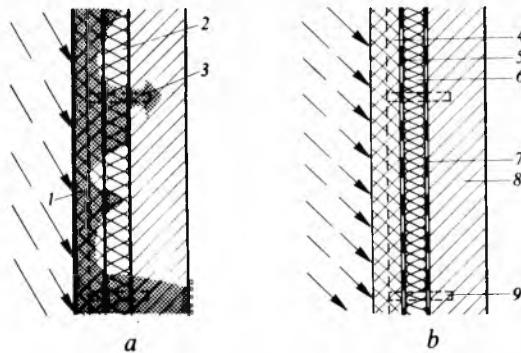
Slojevite fasade mogu se oštetiti zbog istih razloga kao masivne fasade, ali su oštećenja veća i češća zbog relativno malih debljina oblage.

Navlaženje toplinske izolacije najčešće je oštećenje slojevitih neventiliranih fasada, a ono se pojavljuje zbog neotpornosti

vanjske oblage na kišu i vjetar. Tada toplinska izolacija gubi svoju djelotvornost. Za kvalitetu materijala za toplinsku izolaciju fasada vrijede jednaki osnovni potrebni uvjeti kao i za toplinsku izolaciju ravnih krovova.

Vanjska obloga neventiliranih slojevitih konstrukcija može biti vidljivi armirani beton, žbuka, kamene ploče, keramičke pločice na armiranobetonском zidu ili na zidu od opeke, fugini zid od opeke, metalna, staklena ili azbestnog cementna obloga, te ukrasno završni sloj na toplinskoj izolaciji od ekspanđiranog polistirena.

Na vanjskim oblogama od armiranog betona mogu nastati pukotine koje se pojavljuju zbog skupljanja betona, zbog temperaturnih utjecaja i zbog dodatnih naprezanja (npr. sidrenje na nosivu konstrukciju). Kroz pukotine prodire vлага u zid, vlaži materijal toplinske izolacije i unutrašnje plohe (sl. 22). Oštećenje se sprečava pomoću dilatacijskih spojnica, upotrebom betona primjerene kvalitete, hidrofobiranjem betona i zaštitom toplinske izolacije od navlaživanja postavljanjem zaštitnih vodonepropusnih slojeva s obje strane toplinske izolacije.

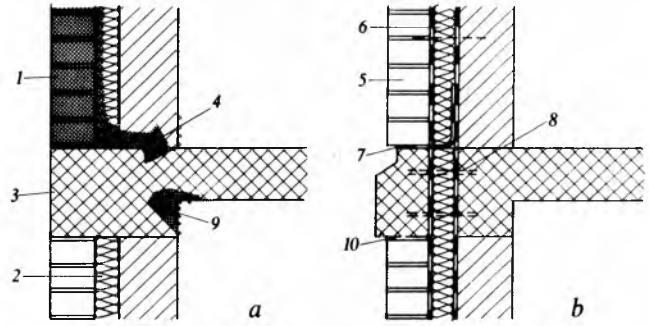


Sl. 22. Izvedba neventilirane slojevite vanjske konstrukcije. a neispravno, b ispravno; 1 vanjska obloga (armiranobetonske ploče) nije hidrofobirana, 2 nezaštićena termoizolacija, 3 prodor vode preko sidra, 4 vanjska obloga (armiranobetonske ploče) s hidrofobnim premazom, 5 hidroizolacija, 6 toplinska izolacija, 7 parna brana, 8 nosiva konstrukcija, 9 sidrenje vanjske oblage

Obložni neožbukani zidovi od opeke nisu otporni na udar kiše, pa se zaštita postiže zidanjem u hidrofobnom mortu ili postavljanjem vodonepropusnih slojeva s obje strane toplinske izolacije ili izvedbom ventilirane fasade.

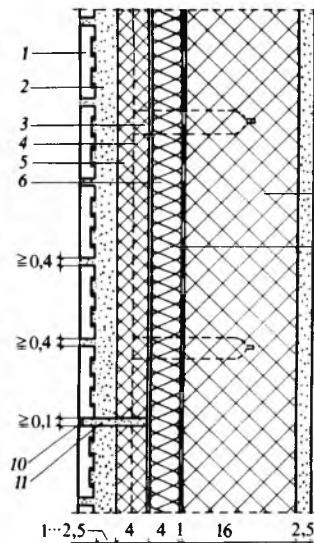
Na obložne zidove od opeke, plinobetona, i betonskih blokova nanosi se žbuka kao zaštita od kiše. Takvi zidovi ne smiju biti tanji od 12 cm. Zbog malih debljina obložnih zidova obična produžna žbuka ne može potpuno zaštititi konstrukciju od mjestimičnog prodora vlage. Da bi se postigla dovoljna zaštita, upotrebljava se hidrofobna žbuka koja je hidrofobna u cijeloj debljini a ne samo na površini.

Vanjske su oblage slojevitih fasada relativno tanke, pa je potrebno na svim završecima i podnožjima predvidjeti zaštitu od kiše i vjetra gdje bi zbog male debljine oblage voda lako prodrla u konstrukciju. Zbog toga je na kritičnim mjestima potreban dodatni hidroizolacijski sloj (sl. 23).



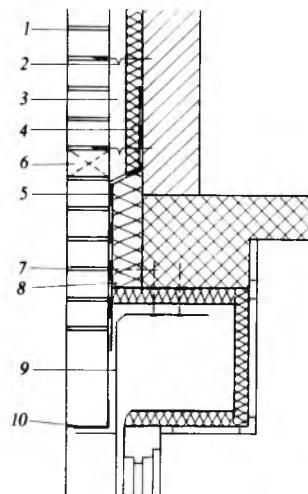
Sl. 23. Slojevita neventilirana vanjska konstrukcija uz stropnu konstrukciju. a neispravno, b ispravno; 1 obložni zid u običnom produžnom mortu, 2 nezaštićena toplinska izolacija od navlaživanja, 3 toplinski nezaštićeni serklaž, 4 prodor vode, 5 obložni zid u produžnom hidrofobnom mortu, 6 toplinska izolacija obostrano zaštićena hidroizolacijom, 7 hidroizolacija na kritičnim mjestima, 8 toplinski zaštićeni serklaž, 9 kondenzirana vodena para, 10 trajno elastični kit

Oštećenja slojevitih neventiliranih konstrukcija nastaju i zbog difuzije vodene pare iz prostorije u zid. Ako je, naime, vanjska obloga od materijala koji ne propušta vodenu paru (metal, staklo, paronepropusni premaz na žbuki), vodena para koja iz prostorije difundira u konstrukciju nailazi na vanjskoj strani na zapreku. Ta para oštećuje vanjsku oblogu ili materijal neposredno uz vanjsku oblogu, a zimi se kondenzira na materijalu toplinske izolacije. Zbog toga se mora i na unutrašnjoj strani predvidjeti paronepropusni sloj koji ima veći otpor difuziji vodene pare nego vanjski sloj (sl. 24).



Sl. 24. Slojevita neventilirana fasadna konstrukcija s vanjskom paronepropusnom oblogom. 1 pločice (klinker), 2 mort 1...2,5 cm, 3 nosači od nerđajućeg čelika (cca 5 kom/m²), 4 armatura mreža, 5 armirani beton 4 cm, 6 toplinska i hidroizolacija 4 cm, 7 armirani beton 16 cm, 8 žbuka 2,5 cm, 9 parna brana, 10 dilatacijska reška i trajno elastični kit (na razmrama 3,0...6,0 m), 11 spužva od moltoprena

Sl. 25. Slojevita ventilirana fasadna konstrukcija. 1 obložni zid od opeke 12 cm, 2 spone od nerđajućeg čelika Ø3 mm, 3 sloj zraka najmanje 4 cm, 4 toplinska izolacija, 5 hidroizolacija, 6 ventilacijski procijep, 7 hidrofobni mort, 8 toplinska izolacija, 9 limeni nosač, 10 kutno željezo



U ventiliranim fasadama bolje se štite konstrukcije i toplinska izolacija nego u neventiliranim fasadama. U ventiliranim fasadama, naime, omogućeno je otjecanje vode ako ona prodre do naličja oblage, a da se ne navlaži toplinska izolacija. U takvim fasadama moguće je i sušenje vlage koja je bilo kako prodrla u konstrukciju, pa su one, ako su kvalitetno izvedene, (sl. 25) i najtrajnije fasade.

Konstrukcije u tlu iznad razine podzemne vode. Obodne su konstrukcije zgrada u tlu podovi na tlu i podrumski zidovi.

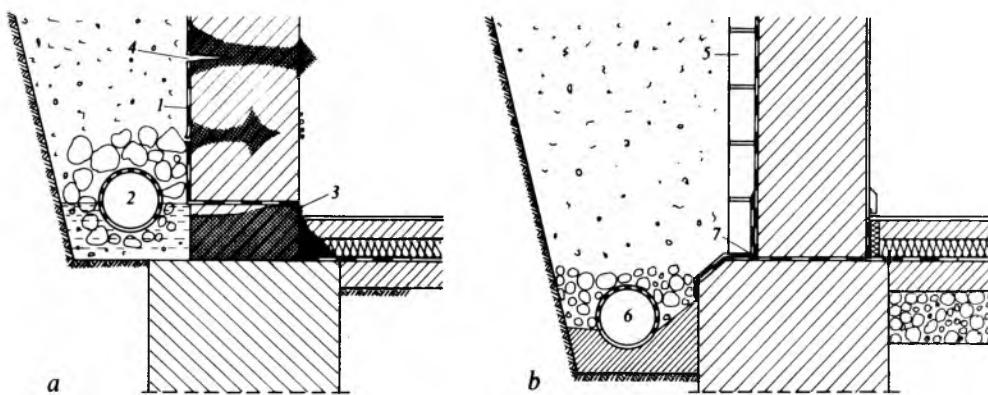
Osnovna im je funkcija, uz nosivost, trajna zaštita od vlage. Zaštita se postiže upotrebom vodonepropusnog materijala nosive konstrukcije ili slojevima hidroizolacije uz nosivu konstrukciju. Prema namjeni prostora podruma uz nosivu konstrukciju može se izvesti i sloj toplinske izolacije sa zaštitom. Izbor materijala i dimenzioniranje sloja hidroizolacije ovisi o vrsti tla, razini podzemne vode, konfiguraciji terena, namjeni građevine i o vanjskim utjecajima (kemijskim, fizičkim, posebno mehaničkim i toplinskim). Ako se konstrukcija u tlu zbog posebnih razloga izvodi ispod razine podzemne vode te je pod stalnim hidrostatskim tlakom, hidroizolacija se posebno projektira i izvodi.

Hidroizolacija trajno štiti konstrukciju od prodora procjedne oborinske vode koja djeluje na izolaciju minimalnim tlakom. Ako je tlo koherentno ili se zgrada nalazi na padini, može se uz hidroizolaciju sakupiti voda koja tada tlači na konstrukciju. Ovo se sprečava izvedbom sustava za odvođenje vode (drenaža). Da bi se ostvarila vodonepropusnost obodnih konstrukcija u tlu, moraju biti međusobno povezane horizontalna i vertikalna hidroizolacija. Tek je tada drenaža svrshodna.

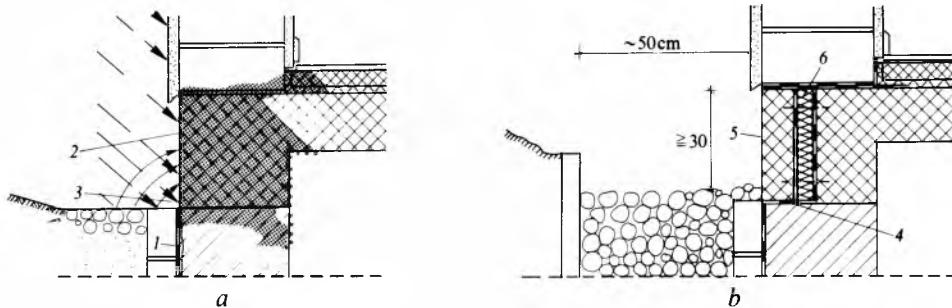
Materijali koji se upotrebljavaju za hidroizolaciju konstrukcija u tlu moraju biti vodonepropusni, postojani u vodi (da ne bubre, da nisu topljni i higroskopni) i da mogu bez oštećenja podnijeti pukotine do 2 mm koje se pojavljuju na podlozi. Najviše se upotrebljava bitumenska hidroizolacija, jer bitumen sporo stari, i to u obliku bitumenskih traka, bitumenskih masa i bitumena. Osim toga, upotrebljavaju se metalne trake i limovi, te sintetičke trake, folije i premazi.

Oštećenja vertikalnih konstrukcija u tlu nastaju zbog pojedostavljanja ili nepravilne izvedbe sustava drenaže, pojedostavljanja hidroizolacije na konstrukciji, nepovezanosti horizontalne i vertikalne hidroizolacije, slabo dimenzionirane hidroizolacije, nekvalitetne podloge na koju se nanosi hidroizolacija, nezaštićene hidroizolacije (sl. 26), neispravnog smještaja hidroizolacije na vertikalnu konstrukciju, upotrebe nekvalitetnih hidroizolacijskih materijala, neispravno izvedenih ili projektiranih završetaka hidroizolacije (sl. 27), te zbog loše izvedenih otvora i prodora instalacija.

Da bi se spriječila takva oštećenja, mora se vertikalna hidroizolacija postaviti na ravnu i očišćenu podlogu, s horizontalnim preklopima do 35 cm i vertikalnim preklopima od 10 cm. Izolacijske trake moraju biti dobro nalijepljene na podlogu i međusobno, a zaštita hidroizolacije pažljivo postavljena da se ne ošteti hidroizolacija.

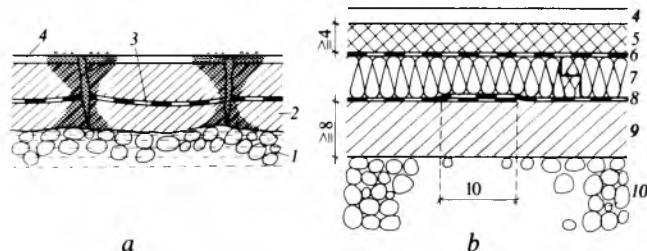


Sl. 26. Izvedba vertikalne izolacije kraj temelja. a) neispravno, b) ispravno; 1 nezaštićena vertikalna hidroizolacija, 2 neispravni položaj drenažne cijevi, 3 nepovezanost horizontalne i vertikalne hidroizolacije, 4 nekvalitetna hidroizolacija, prodror vode, 5 zaštita vertikalne hidroizolacije, 6 drenažna cijev položena ispod razine horizontalne hidroizolacije, 7 spoj horizontalne i vertikalne hidroizolacije



Sl. 27. Završetak vertikalne hidroizolacije (podnožje zgrade). a neispravno, b ispravno; 1 neravna podloga, 2 nezaštićeno podnožje, 3 otvoren završetak vertikalne hidroizolacije, 4 vertikalna i horizontalna hidroizolacija su povezane, 5 dovoljno visoko podnožje, 6 topilska izolacija

Oštećenja horizontalnih konstrukcija u tlu nastaju zbog istih razloga kao i oštećenja vertikalnih konstrukcija. Osim toga oštećenja nastaju zbog pomanjkanja horizontalne hidroizolacije ili njezina polaganja na neadekvatnu podlogu, zbog slijeganja i pucanja podloge ispod hidroizolacije, te zbog neispravno izvedene drenaže (sl. 28).



Sl. 28. Horizontalna hidroizolacija i način izvedbe. a neispravno, b ispravno; 1 nedovoljno zbijeni šljunak, 2 betonska podloga nije dovoljno debela, 3 hidroizolacija izvedena bez preklopa, 4 podna obloga, 5 armiranobetonski estrih, 6 zaštita topilske izolacije, 7 topilska izolacija, 8 hidroizolacija, 9 betonska podloga, 10 nasip šljunka

Da se ne bi oštetila horizontalna konstrukcija u tlu, hidroizolaciju treba postaviti na betonsku podlogu debelu najmanje 8 cm s preklopima traka od 10 cm. Iznad hidroizolacije postavlja se zaštitni sloj ili slojevi poda.

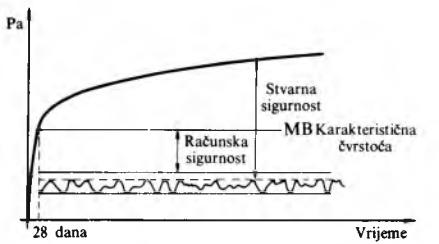
G. Stanuga

PATOLOGIJA I SANACIJA BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Trajinost betonske konstrukcije karakteristika je njene sigurnosti s obzirom na predviđeni vijek trajanja, njezinu namjenu, način iskorištavanja i utjecaj okoliša. Trajan beton mora se tijekom mnogih godina suprostavljati kemijskim, fizikalnim i mehaničkim procesima razaranja. Uz karakterističnu čvrstoću i deformabilnost, trajnost je najvažnija karakteristika betona.

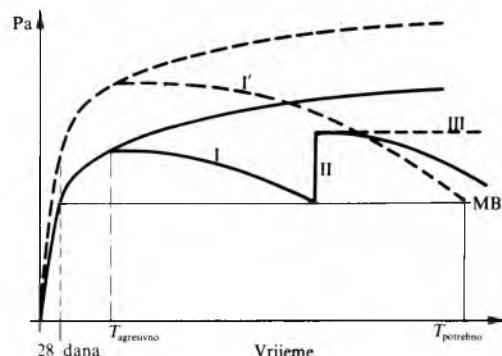
Sigurnost betonskih konstrukcija najčešće se određuje omjerom tlačne čvrstoće betona i naprezanja zbog opterećenja (kvocijent sigurnosti). Obično se proračun sigurnosti zasniva na 28-dnevnoj čvrstoći (čvrstoća betona 28 dana poslije betoniranja). Kako su i čvrstoća betona i opterećenje konstrukcije funkcije vremena, to je i stvarna sigurnost betonske konstrukcije funkcija vremena.

Sigurnost se betonske konstrukcije u povoljnim uvjetima, npr. dobro zaštićena konstrukcija, s vremenom povećava zbog postepene hidratacije cementa (sl. 29). Ako, međutim, na kon-



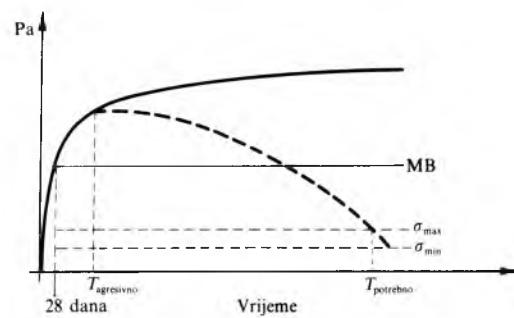
Sl. 29. Odnos nosivosti i opterećenja betonske konstrukcije u povoljnim uvjetima

strukciju djeluju činoci koji razaraju beton, njena se sigurnost smanjuje, a u nepovoljnim prilikama konstrukcija se može i srušiti (sl. 30).



Sl. 30. Odnos nosivosti i tražene kakvoće (MB) betonske konstrukcije izložene oštećenjima. I konstrukcija je u početku predmerniširana, II konstrukcija se povremeno obnavlja (reparira), III konstrukcija se nakon obnove zaštići

Koefficijent sigurnosti ne smije biti manji od propisane vrijednosti. Najjednostavnije je, ali i neekonomično, projektirati konstrukciju tako da je potrebna minimalna sigurnost osigurana i nakon razaranja dijela betona. Tako se, međutim, dobiva skupa konstrukcija velikih dimenzija. Druge su mogućnosti da se konstrukcija povremeno obnavlja, ili da se konstrukcija nakon popravka zaštići od štetnih utjecaja, ili da se dopusti upotreba s povećanim rizikom, odnosno sa smanjenom sigurnošću (sl. 31).

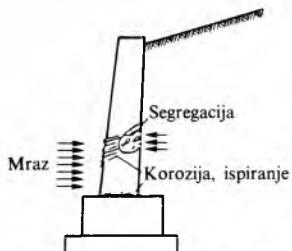


Sl. 31. Odnos nosivosti i kakvoće betona pri upotrebi konstrukcije s povećanim rizikom

Svojstva betona koja utječu na trajnost. Osnovna su svojstva betona koja djeluju na trajnost: homogenost, poroznost, vodopropusnost, plinopropusnost, sposobnost apsorpcije, prionljivost cementnog kamena i agregata, te čvrstoća.

Homogenost betona ima posebno značenje za trajnost betonskih konstrukcija zbog utjecaja na raspodjelu naprezanja u konstrukciji. Zbog nehomogenosti betona naprezanja se koncentriraju na dijelove betona bolje kakvoće (veća krutost i veća čvrstoća), dok se procesi razaranja pojavljuju na najslabijim mjestima (sl. 32). Homogenost betona ovisi o homogenosti kom-

ponenata betona (cementa i agregata), načinu doziranja, miješanja, transporta, ugradnje i njege betona. Količina cementa i pijeska sitnjeg od 0,2 mm važna je za trajnost betona. Cement i sitni pijesak trebaju što bolje popuniti šupljine među zrnima agregata, što osigurava potrebnu nepropusnost i poroznost betona. Zbog toga je vrlo važan ispravan izbor granulometrijskog sastava agregata i održavanje homogenosti tijekom betoniranja.

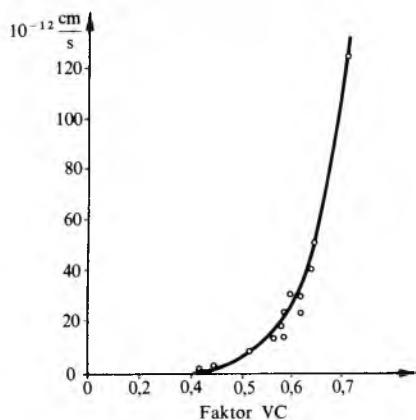


Sl. 32. Procesi razaranja napadaju slabija mesta

Poroznost betona čine pore u agregatu i cementnom kamenu. Razlikuju se otvorene pore povezane s drugim porama i s površinom betona, te zatvorene pore. Otvorene pore utječu na mogućnost apsorpcije vode i na propusnost betona.

Da se odredi utjecaj poroznosti na mehanička i fizikalna svojstva betona i njegovu trajnost, potrebno je poznavati morfologiju, veličinu i raspodjelu pora. Ispitivanja vodopropusnosti, apsorpcije i kapilarnog upijanja daju uvid u svojstva sustava pora u betonu. Dok kapilare i pukotine nepovoljno utječu na trajnost betona, zatvoreni mjehurići zraka dimenzija $10\text{--}200 \mu\text{m}$ na razmacima od $0,15\text{--}0,25 \text{ mm}$ djeluju povoljno. Dodacima svježem betonu (aeranti) zbog kemijskog djelovanja nastaju zatvoreni mjehurići zraka. Sadržaj zraka u svježem neaeriranom betonu iznosi $0,5\text{--}4\%$, a u aeriranom svježem betonu $2,5\text{--}8\%$. S druge strane, svako povećanje pora za 1% smanjuje tlačnu čvrstoću betona za $2\text{--}4\%$.

Poroznost agregata koji se upotrebljavaju za beton obično je malena ($0,5\text{--}2\%$, a nekada i 7%), dok je koeficijent vodopropusnosti reda veličine $10^{-10}\text{--}10^{-13} \text{ cm/s}$. Poroznost i koeficijent vodopropusnosti cementnog kamena ovise o vrijednosti vodocementnog faktora (v. *Beton*, TE 2, str. 1). S povećanjem vodocementnog faktora na vrijednosti veće od 0,44 naglo se povećava faktor vodopropusnosti (sl. 33). S vremenom se, međutim, smanjuje koeficijent vodopropusnosti (sl. 34).



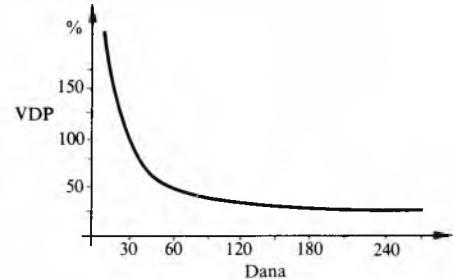
Sl. 33. Odnos vodocementnog faktora i vodopropusnosti cementnog kamena

Prodiranje štetnih materijala u beton ovisi o prodiranju vode kroz međusobno povezane pore. Da bi se definiralo protjecanje vode kroz beton, primjenjuje se Darcyjev zakon, prema kojemu je brzina protjecanja proporcionalna razlici tlakova. Faktor proporcionalnosti, međutim, nije konstanta, jer se mijenja s vremenom zbog stvaranja novih produkata hidratacije, odnošenja finih dijelova betona i izlaženja zračnih mjehurića.

Apsorpcija je ovisna o količini otvorenih pore u betonu. Voda prodire u beton djelovanjem hidrostatskog tlaka i kapi-

larnih sila, a prodiranje je brže ako je omogućen izlazak mjeđuhurića zraka iz betona. Dubina do koje prodire voda u beton proporcionalna je drugom korijenu vremena. Laboratorijska ispitivanja pokazala da postoji dobra korelacijska veza između brzine apsorpcije i trajnosti betona.

Prionljivost (veza između cementnog kamena i agregata) ima odlučujući utjecaj na trajnost i čvrstoću betona. Vodopropusnost na kontaktnoj plohi veća je od vodopropusnosti cementnog kamena i agregata. Voda se kreće kroz beton putem najmanjeg otpora, dakle na kontaktu između cementnog kamena i agregata, pa se tu pojavljuju i najveći tlakovi od djelovanja leda i najveće kemijsko razaranje. Ako je konstrukcija preopterećena na vlak, nastat će pukotine koje neće utjecati na nosivost konstrukcije ako je armatura ispravno dimenzionirana, ali u agresivnom okolišu te pukotine mogu nepovoljno utjecati na trajnost betona.

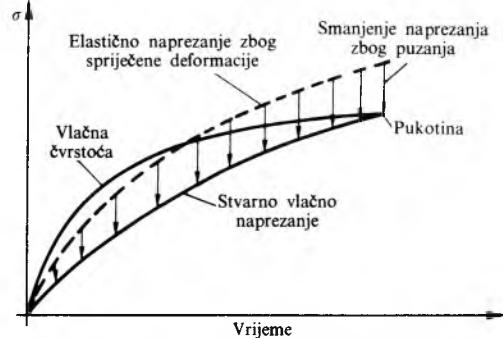


Sl. 34. Utjecaj zrelosti (starosti) na vodopropusnost betona

Svojstva cementa utječu na trajnost i vrste razaranja betona (v. *Cementi*, TE 2, str. 585). O mineralnom sastavu i kemijskim svojstvima cementa ovisi vrsta razaranja betona. Otporniji su cementi s većim sadržajem dikalcijskog-silikata i oni s manjim sadržajem trikalcijskog-aluminata, slobodnog vapna i alkalijskih. Povoljno djeluju dodaci betonu kao granulirana troška visokih peći, neki pepeli i drugi silikatni materijali koji kemijski vežu vapno iz cementa. Pitanju mineralnog i kemijskog sastava cementa s obzirom na pojave korozije pridaje se veliko značenje, često i na račun drugih svojstava važnih za trajnost betona. Novija istraživanja pokazuju da je vrlo važna mikrostruktura cementnog kamena (oblik i dimenzije slojeva cementnog gela i pora u njemu). Fizikalna svojstva cementa (finoća mlijiva, granulometrijski sastav) utječu na potrebni vodocementni faktor, a on utječe preko poroznosti na trajnost i čvrstoću betona. Granulometrijski sastav i veličina zrnaca cementa, osim toga, utječu na veličinu pora u cementnom kamenu i na stvaranje mjehurića u aeriranom betonu. Velika je finoća mlijiva nepogodna jer se tada povećava stezanje betona, što stvara fine pukotine.

Pukotine smanjuju čvrstoću betona, omogućuju lakši i brži prodror agresivnih tvari, pa one postaju mesta na kojima počinju druge vrste razaranja. Pukotine mogu nastati a) zbog stezanja betona i topline hidratacije, b) zbog savijanja i istezanja betonskih elemenata, c) zbog nedostataka u projektu i izvedbi i d) zbog djelovanja agresivnog okoliša i procesa razaranja.

Najčešće se pukotine pojavljuju kombiniranim djelovanjem više faktora.



Sl. 35. Odnosi čvrstoće, naprezanja i puzanja u betonskom bloku

U početku očvršćivanja stezanje je betona najveće i ono ovisi u prvom redu o brzini gubitka vode iz betona, dakle o relativnoj vlažnosti okoliša. U tom je razdoblju čvrstoća betona malena, pa je i moguće puzanje najveće. U početku se zbog stezanja i odvođenja topline s površine, a zbog sprječene deformacije, u unutrašnjosti pojavljuje tlačno, a na površini vlačno naprezanje. Nakon toga nastaje puzanje cementnog kamenja i smanjenje naprezanja. Čvrstoća se betona s vremenom povećava, a pukotine nastaju ako je stezanje prebrzo, ili ako se naglo na površini snizi temperatura (sl. 35).

Uzroci oštećenja betonskih konstrukcija. Izbor kvalitete betona u fazi projektiranja ovisi o predviđenom vijeku trajanja betonske konstrukcije. Pri tom je jedan od osnovnih problema definiranje načina upotrebe i uvjeta u okolišu koji će djelovati na beton. U uvjetima nepovoljnim za beton često je važnije odabrati druge karakteristike betona (gustoću, vodopropusnost, vodocijumentni faktori i sl.) nego čvrstoću betona.

U agresivnom okolišu treba osigurati trajnost betona površinskom zaštitom. U principu postoje dvije mogućnosti za zaštitu betona. Prva, pomoći površinske odvodnje, drenaže, ventilacije, pogodnim oblikovanjem konstrukcije i sl., te druga, pomoći zaštitnih materijala kao hidrofobnim sredstvima, nepropusnim ili malo propusnim slojevima, premazima, žbukama.

Najčešće oštećenja nastaju zbog nedovoljnog poznavanja zahtjeva koje mora zadovoljiti betonska konstrukcija i zbog nepridržavanja poznatih tehničkih ovisnosti. To vrijedi i u fazi projektiranja i u fazi građenja.

Nakon što je betonska konstrukcija predana u upotrebu potrebno ju je povremeno pregledati i održavati. Program i periodičnost pregleda treba predviđeti projektom. Nedovoljno i nepravilno održavana betonska konstrukcija ima mnogo kraći vijek trajanja.

Betonska konstrukcija obično je izložena istodobnom utjecaju različitih vanjskih faktora koji utječu na njenu trajnost. To su mehanički, fizikalni, kemijski i biološki utjecaji.

Među mehaničke utjecaje mogu se ubrojiti udari, trenje, mehanička oštećenja od strujanja vode i vodom nošenog nanosa, opterećenja i preopterećenja. Posljedice su tih utjecaja: pukotine, drobljenje betona i erozija.

Fizikalni utjecaji obuhvaćaju naizmjenično djelovanje visokih i niskih temperatura, vlaženje i sušenje, smrzavanje i odmrzavanje, utjecaj vrlo visokih temperatura i požara (sl. 36), te elektrokemijsku koroziju betonskog željeza.

Koefficijenti su temperaturnog istezanja cementnog kamenja i agregata različiti. Zbog toga, kad se pojave velike i nagle promjene temperature, beton puca, ljušti se površina betona, a prionljivost se smanjuje. Sličan je utjecaj izmjeničnog vlaženja i sušenja, jer se tada beton izmjenično širi i steže. S porastom temperature do 100 °C postepeno se gubi slobodna voda iz pora, kad je temperatura betona između 100 i 200 °C, gubi se fizikalno apsorbirana voda, a na temperaturama višim od

400 °C kemijski vezana voda. Zbog gubitka vode steže se cementni kamen, a zbog porasta temperature povećava se volumen agregatnih zrna. Betoni od portlandskog cementa (v. *Cementi*, TE 2, str. 585) mogu duže vremena podnijeti temperaturu od 250 °C, a bez štetnih posljedica na čvrstoću. Ispitivanja su pokazala da betonske konstrukcije vrlo dobro odolijevaju djelovanju požara tijekom više sati.

Djelovanjem niskih temperatura beton se razara, jer smrznuta voda ima veći specifični volumen od vode u tekućem stanju. U krupnijim porama voda se počinje smrzavati na temperaturi od 0 °C, a u manjim porama smrzavanje počinje na nižim temperaturama, pa se u najmanjim porama cementnog gela voda smrzava tek na temperaturi od -78 °C. Različita ponasanja vode uvjetovana su različitim stanjima vode u cementnom kamenu. Iako ne postoje oštре granice među stanjima vode, razlikuju se sljedeća stanja vode: a) kemijski vezana voda dio je vode vezan procesom hidratacije u krute spojeve koji čine cementni gel, b) međuslojna voda koja je prodrila među slojeve čvrstog gela ili u prostore među kristalima (debljina tih međuslojeva iznosi ~1 nm, a sušenjem se međuslojevi stanjuju i cementni se kamen skuplja), c) apsorbirana voda vezana je površinskim silama uz površinu gela: u prvom sloju (debljina nekoliko molekula vode) te su sile vrlo jake, a s povećanjem udaljenosti od površine one se naglo smanjuju, d) slobodna voda nalazi se u kapilarama i velikim porama gela, ona je dovoljno daleko od površina gela i na nju ne djeluju površinske sile; u tim šupljinama osim vode ima i zraka u kojemima ima vodene pare, već prema temperaturi i tlaku.

Kad se voda smrzne, volumen se povećava za ~9%. Ako u porama cementnog kamena nema zraka, povećanje volumena vode djelovat će na strukturu cementnog kamena, pa će se pokidati međusobne veze i razoriti postojeća struktura. S povišenjem temperature voda će se odmrznuti, pa će djelomično razoren beton moći upiti dodatnu količinu vode. Ponovno smrzavanje povećat će zbog toga razaranje strukture. Taj proces potpomognut je sticanjem cementnog gela i agregata koje je istodobno s povećanjem volumena leda.

Led će razarati beton samo kad je beton dovoljno zasićen vodom. Ta granica naziva se kritičnom saturacijom. Prema tome, na relativno suhi beton, kad je zasićenost vodom manja od kritične saturacije, niske temperature neće nepovoljno djelovati.

Volumen betona ne smanjuje se sa sniženjem temperature samo zbog smanjenja volumena cementnog kamena i agregata, nego i zbog postepenog kretanja vode iz cementnog gela u



Sl. 36. Oštećenje betonske konstrukcije od požara



Sl. 37. Oštećenje betona zbog djelovanja niskih temperatura i soli za odleđivanje

kapilare (taj je proces sličan procesu sušenja betona). Brzina kretanja vode povećava se i zbog osmotskog tlaka, jer se smrzavanjem vode povećava koncentracija soli u kapilarnoj vodi koja se još nije smrznula. To je vjerojatno i jedan od razloga da prisutnost soli (npr. soli za odmrzavanje leda na cestama) ubrzava razaranje betona (sl. 37). Postoji, međutim, i više drugih fizikalnih i kemijskih mehanizama i reakcija koje ubrzavaju razaranje betona. Među njima je djelovanje povisjenog tlaka koji nastaje zbog kristalizacije soli u većim porama, dodatno hlađenje betona otapanjem soli (npr. natrij-klorida) zbog kojeg se povećava temperaturni gradijent, pa i naprezanja u betonu.

Kemijski utjecaji mogu se svrstati u dvije grupe: korozija betonskog željeza i korozija cementnog kamena i betona.

Korozijom betonskog željeza stvara se željezo-hidroksid koji ima veći specifični volumen od željeza. Zbog toga armatura buja, pa beton puca. Pojavljuju se karakteristične pukotine uzduž armature (sl. 38). To se često događa kad ne postoji dovoljno debeli zaštitni betonski sloj iznad željezne armature.



Sl. 38. Pukotine u betonu nastale korozijom betonskog čelika (bubrengi)

Korozija cementnog kamena i betona nastaje djelovanjem agresivnih tvari koje unose u beton zrak, plinovi i voda. Na stupanj agresivnosti, osim karakteristika betona, utječu: a) brzina toka vode, jer se s povećanjem brzine povećava donošenje agresivnih tvari i odnošenje produkata korozije, b) oscilacije vodo-staja, jer se s povlačenjem vode povećava koncentracija agresivnih tvari, c) trajanje djelovanja agresivnog medija, d) pojava jednostranog tlaka, što ubrzava prodor agresivnih tvari u beton, e) povišenje temperature, jer se kemijski procesi ubrzavaju na višim temperaturama, f) debljina betonskog elementa, jer je tada veći omjer ukupne mase betona i njegove površine koja je izložena agresivnim tvarima i g) vodonepropusnost i plastičnost tla.

Posljedice korozije cementnog kamena mogu biti otapanje veziva, kemijsko rastvaranje veziva, bujanje novo nastalih produkata reakcije i mrvljenje betona, smanjenje vrijednosti pH i zato smanjenje vrijednosti zaštite armature.

Pojave korozije cementnog kamena i betona mogu se svrstati u sljedeće glavne grupe: a) korozija mekim vodama, b) korozija vodama koje sadrže ugljik-dioksid, c) korozija kiselinama, d) korozija sulfatima i e) korozija organskim tvarima i solima.

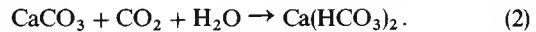
Meke vode otapaju vapnenu komponentu u betonu, a odnosnjem vapna remeti se kemijska ravnoteža, pa počinje raspadanje cementnog gela.

Kada voda sadrži ugljik-dioksid i kad ona prodre u beton, u njemu se hidrolizom oslobađa vapno koje se spaja s ugljik-

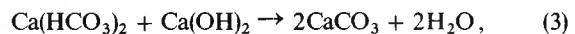
-dioksidom u kalcij-karbonat prema relaciji



Daljim djelovanjem ugljik-hidroksida nastaje kalcij-hidrokarbonat prema relaciji



Ako tako nastali kalcij-hidrokarbonat prodre dublje u beton, prelazi reakcijom s vapnom ponovno u kalcij-karbonat prema relaciji



pa tako popunjava strukturu betona. Ako pak kalcij-hidrokarbonat dospije na površinu betona koju ne ispira voda, može se ponovno raspasti u kalcij-karbonat i ugljik-dioksid prema reakciji (2), koja se tada odvija u suprotnom smjeru. Tada na površini betona nastaju naslage vapnenca.

U kontaktu betona, koji je vrlo bazičan ($\text{pH} \approx 12$), s razrijeđenim kiselinama nastaju kemijske reakcije koje razaranjuju strukturu betona. Treba, međutim, spomenuti da koncentrirane kiseline gotovo ne reagiraju s betonom.

Djelovanjem sulfata razgrađuju se neki produkti hidratacije (trikalcij-aluminat). Nastaju novi spojevi koji na sebe vežu vodu, čime se povećava volumen. Zbog toga beton puca i mrvi se. Takva korozija nastaje kad npr. beton dolazi u dodir s morskom vodom.

Korozija djelovanjem organskih tvari i soli najčešće se pojavljuje u betonskim industrijskim konstrukcijama (sl. 39). U nekim tvornicama nailazi se na znatno oštećene betonske konstrukcije već nakon 5–10 godina uporabe. Često se radi o novim i još neproučenim vrstama korozije.



Sl. 39. Oštećenje betona zbog djelovanja agresivnih soli i smrzavanja (u kemijskoj industriji)

Posebnu grupu pojava korozije betona čine reakcije s agregatom u betonu. Agregat, naime, nije samo inertna isplina betona. Pojavljuju se reakcije između alkalija u cementu i minerala na površini agregatnih zrna. Većinom te reakcije doprinose privoljnosti cementnog kamena i agregata. Ima, međutim, i pojave štetnog djelovanja, pa i razaranja betona. Među tim reakcijama najpoznatije su alkalno-silikatne i alkalno-dolomitne reakcije. U nas nije registriran ni jedan pouzdani slučaj razaranja betona zbog takvih reakcija.

Biološki utjecaji također mogu smanjiti trajnost betona. Vrgaćacija i mikroorganizmi koji se mogu razviti na betonu mogu razarati njegovu površinu, stvarati kiseline i sulfate koji nagrizaju beton, slabiti mehanička svojstva i stvoriti pukotine.

Sanacija betonskih konstrukcija. Program sanacije betonskih konstrukcija može se svrstati u sljedeće četiri radne faze: a) određivanje uzroka, opsega i utjecaja oštećenja, b) izbor materijala za sanaciju, c) priprema površine betona i d) ugradivanje materijala.

Svrha je sanacije ili popravak izgleda, ili poboljšanje nosivosti konstrukcije. Kad se radi o poboljšanju nosivosti, radovi mogu obuhvatiti zamjenu oštećenih dijelova nekvalitetnog betona, ojačanje pojedinih presjeka, zamjenu oštećenih elemenata i sl. Izbor tehnike sanacije ovisi o traženoj sigurnosti konstrukcije, o rokovima izvedbe i o ekonomičnosti.

Jednostavnija sanacija, kad se samo uspostavlja prvobitno stanje, ne traži ponovno dokazivanje sigurnosti konstrukcije. To je npr. sanacija kojom se obnavlja zaštitni sloj betona iznad željezne armature. Ako se, međutim, sanacijom želi promjeniti staticki sustav, opteretivost ili dimenzije konstrukcije, potrebno je dokazati sigurnost izmjene konstrukcije. Tada se često primjenjuju točnije proračunske metode nego što je to uobičajeno za slične nove konstrukcije, a prema potrebi dokazuje se sigurnost i za pojedine međufaze sanacije.

Ispitivanja na konstrukciji. Postupci ispitivanja kakvoće betona tijekom građenja utvrđeni su standardima (v. Beton, TE 2, str. 1; v. Ispitanje građevnih materijala i konstrukcija, TE 6, str. 551). Većina tih ispitivanja ne može se primijeniti na materijal već izgradene građevine. Osim toga, ispitivanja kojima je svrha da se utvrde oštećenja i njihov opseg, ili nisu, ili su samo djelomično standardizirana. Poteškoće su još i u tome što se ne može uzeti dovoljno uzoraka betona da bi se moglo statistički vrednovati kakvoću betona. Zbog toga se mora osložiti pri procjeni stanja konstrukcije na iskustvo i na niz kvalitativnih informacija (tabl. 3).

Ispitivanja u laboratoriju provode se na uzorcima materijala uzetih iz odabranih dijelova konstrukcije. Najčešće su to ispitljeni betonski valjci. Uzorci i mjesta s kojih su uzeti uzorci

Tablica 3
PREGLED ISPITIVANJA NA KONSTRUKCIJI

Sadržaj ispitivanja	Metoda i aparature
Kontrola dimenzija	metar mjerjenje rezonantne frekvencije i brzine prolaza ultrazvuka ako su elementi nedostupni ili zatvrsani
Armatura: položaj, profil, zaštitni sloj	tragač armature na principu induciranih električnih napona gamagrafija skidanje zaštitnog sloja
Čvrstoča	piljenje valjaka iz konstrukcije pomoću dijamantnih kruna i ispitivanje čvrstoče u preši indirektne metode koje dobro koreliraju s čvrstočom: sklerometar, ultrazvuk, čupanje
Dubina prodiranja klorida	kvalitativno određivanje na površini izvadenog uzorka pomoću indikatora
Vlažnost	mjerac vlage na principu mjerena promjene električnog otpora upijanje vode u određenom vremenskom intervalu
Gustoča, homogenost i defektna mjesta u betonu	mjerjenje brzina prolaza ultrazvuka mjerjenje rezonantne frekvencije rentgenske i gama zrake
Pukotine	lupa s ugraviranim mjerilom
Slijeganje i deformacije	geodetska snimanja nivojicom u određenim vremenskim razmacima staklene pločice zalijepljene u gipsu probna opterećenja uz mjerjenje slijeganja i deformacija različiti optički, električni i mehanički mjeraci pomaka i deformacija
Kemijska agresivnost vode i tla od građevine	analiza vode s obzirom na vrijednost pH, miris (H_2S), tvrdotoču, magnezij, amonijak, sulfati, agresivni ugljik-dioksid, kloride

moraju biti tako odabrana da se dobije što vjernija slika o stanju konstrukcije. Osim betona, uzimaju se i uzorci ostalih materijala koji su u dodiru s betonskom konstrukcijom (voda, tlo, zrak, žbuka, premaz i dr.).

U laboratoriju se ispituju čvrstoča betona, otpornost na habanje, erozijska otpornost, tekstura, homogenost, vlažnost, apsorpcija, vodopropusnost i plinopropusnost, struktura cementnog kamena, sadržaj veziva i stupanj hidratacije, količina štetnih tvari (sulfati, kloridi), dubina prodiranja štetnih tvari, modul elastičnosti, stanje armature itd.

Materijali za sanacije. Kao osnovni materijal za sanaciju najčešće se upotrebljava portlandski cement, zatim polimerni materijali, metali, keramika i bitumenom vezani materijali. Svaki od tih materijala ima prednosti i mana.

Za uspješnu sanaciju bitna je razlika volumenskih promjena materijala za sanaciju i betona koji se sanira. Većina materijala nakon ugradnje mijenja volumen u procesu očvršćivanja. Zbog toga se u materijalu pojavljuju smična i vlačna naprezanja, pa postoji tendencija odvajanja i stvaranja pukotina okomitih na kontaktну plohu. Prije konačnog izbora materijala za sanaciju treba računski i eksperimentalno utvrditi te odnose.

Priprema podloge. Površinu na koju se nanosi materijal za popravak treba očistiti do zdravog betona. O veličini oštećenih dijelova konstrukcije ovisi primjena postupka čišćenja. Pjeskarjenje je prikladno za velike površine plitko oštećenog betona. Ako je beton oštećen na većoj dubini, potrebno je izdubiti oštećeni beton i ukloniti nekvalitetne dijelove konstrukcije.

Ako se za sanaciju upotrebljavaju cementom vezani materijali, očišćenu površinu betona treba dobro navlažiti, ali tako da voda ne ostane na površini. Kad se upotrebljavaju polimerni materijali, očišćene površine treba dobro prosušiti.

Priprema površine vrlo je važna faza rada, jer o njoj ovisi prioljivost na beton materijala za popravak. Zbog toga se često, da bi se povećala prioljivost, površina premaže veznim slojem. U tu svrhu povoljni su polimerni materijali.

Sanacije materijalima vezanim cementom. Upotrebljavaju se beton, mortovi, injekcijske smjese i premazi. To je najjeftiniji način sanacije.

Najčešće se upotrebljavaju različiti dodaci betonu da bi se poboljšala obradivost svježeg betona, da bi se postiglo potrebno trajanje vezivanja i očvršćivanja, te da bi se poboljšala prioljivost na podlogu.

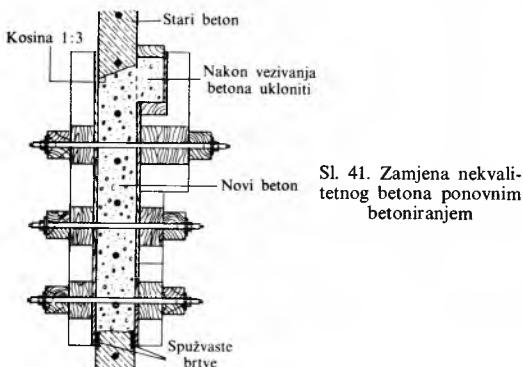


Sl. 40. Primjena mlaznog betona za sanaciju vodopropusnosti riječnog korita

Za sanacijske radove najviše se upotrebljava mlazni beton ili mlazni mort. To je beton ili mort koji se pod tlakom velikom brzinom izbacuje iz mlaznice na površinu koju treba sanirati. Tako se postiže potrebna zbijenost materijala. Primjenjuje se za zamjenu oštećenog betona na velikim površinama (sl. 40), za ojačanje betonskih konstrukcija, za naknadnu zaštitu željezne armature, za poboljšanje otpornosti prema vatri itd.

Mlazni beton ili mort nanose se u jednom ili više slojeva debljine 0,5 cm ili više. Može se postići čvrstoća betona koja odgovara marki betona MB 30.

Za popravak manjih površina smjesa svježeg morta ili betona nanosi se zidarskom žlicom ili lijevanjem. Ako je beton oštećen po cijeloj debljini, može se primjenom posebnih oplata zamjeniti novim betonom (sl. 41).

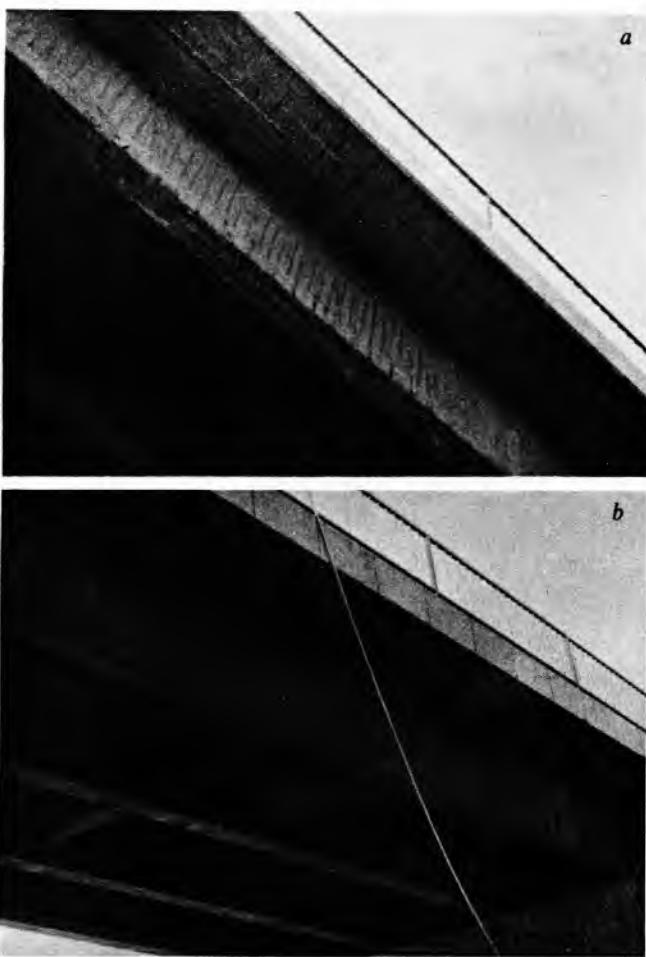


Sl. 41. Zamjena nekvalitetnog betona ponovnim betoniranjem

Za popravak površina do 300 cm^2 primjenjuje se mort za popravke zemnovlažne konzistencije. Nakon što se nekvalitetni dio izdubi, mort se nanosi u slojevima od nekoliko centimetara i nabija se čekićem preko drvenog podmetača. Gotova površina posipa se suhom smjesom cementa i pjeska, nakon čega se zagladi.

Ako se saniraju prodori vode, upotrebljavaju se brzovezni mortovi. Različitim dodacima može se trajanje vezivanja morta skratiti na nekoliko minuta, pa i na pola minute.

Za smanjenje vodopropusnosti, za povećanje zaštitnog sloja armature, za zamjenu oštećene površine betona (sl. 42) i sl.



Sl. 42. Poboljšanje zaštitnog sloja armature premazima portlandskim cementnim mortom. a prije sanacije, b poslije sanacije

upotrebljavaju se cementni mortovi tekuće konzistencije (pažljivo odabrani sastav sitnog čistog pjeska, cementa i dodatka za povećanje prionljivosti i brtvenja), koji se nanose četkom ili zidarskom gladilicom u tankim slojevima od $\sim 1 \text{ mm}$.

Cementom vezane injekcijske smjese i mortovi primjenjuju se za brtvenje pukotina (veće od $0,3 \text{ mm}$), za zatvaranje i punjavanje šupljina, za ojačanje poroznih betonskih elemenata i sl. Smjese za injektiranje moraju biti u tekućem stanju i stabilne s obzirom na izdvajanje vode i na slijeganje čestica cementa i pjeska. Da bi se povećala fluidnost i stabilnost mješavine, potrebeni su dodaci injekcijskim smjesama.

Sanacija polimernim materijalima. Za sanaciju betonskih konstrukcija upotrebljavaju se epoksidna i silikonska smola, lateks, poliuretan, poliester i akrilat. Usporedba svojstava polimernih materijala sa svojstvima materijala s cementom kao vezivom vidi se u tabl. 4.

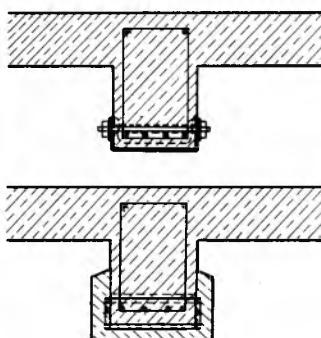
Tablica 4
USPOREDBA OSNOVNIH KARAKTERISTIKA CEMENTOM VEZANIH I POLIMERNIH MATERIJALA

Karakteristika	Cementom vezani materijal	Polimerni materijal
Čvrstoća	niža	viša
Prirost čvrstoće	sporiji	brži
Prionljivost	manja	veća
Temperaturne deformacije	manje	veće
Modul elastičnosti	veći	manji
Postojanost na kemikalije	manja	veća
Osjetljivost na vlagu	manja	veća
Paropropusnost	veća	manja
Cijena	manja	veća

Polimerni materijali upotrebljavaju se kao zaštitni premazi, za impregnaciju, kao materijal za ispunjavanje pukotina i šupljina, za brtvenje, kao vezni sloj, kao vezivo za mort i beton, te kao mase za zalijevanje.

Sanacija metalima. Od metala za sanaciju betonskih konstrukcija najčešće se upotrebljava čelik. Za projektiranje sanacije vrijede propisi koji se primjenjuju na nove konstrukcije od armiranog betona.

Glavni je problem pri izvođenju takvih sanacijskih radova osiguranje veze nove armature i postojećeg betona. Da bi se dio stalnog tereta prenio na dodanu armaturu, postojeći betonsku konstrukciju treba rasteretiti, ili na prikladan način deformirati. Primjer naknadnog ojačanja betonske grede vidi se na sl. 43.



Sl. 43. Naknadno ojačanje grede betonskim čelikom

Za sanaciju nosivih armiranobetonskih i zidanih elemenata često se primjenjuje postupak prednaprezanja. Tako se povećava nosivost elemenata i pukotine se zatvaraju. Teško je procijeniti sile koje će konstrukcija preuzeti i deformacije zbog puzanja očvrslog i starog materijala, pa se prednaprezanje provodi postepeno. Čelične šipke za prednaprezanje moraju se dobro zaštiti od korozije i drugih oštećenja.

V. Ukrainčik

G. Blacheré, Savoir batir. Editions Eyrolles, Paris '1974. — *K. Moritz*, Flachdachhandbuch. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin '1975. — *E. B. Grunau*, Die Aussenwand. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld 1975. — *W. Meyer-Bohe*, Fassaden. Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, Stuttgart 1975. — *H. Weber*, Ausbauhandbuch. Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1976. — *E. Schild, R. Oswald, D. Rogier, H. Schweikert*, Schwachstellen, Band I, Flachdächer. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin 1976. — *Ph. H. Perkins*, Concrete Structures: Repair, Waterproofing and Protection. Applied Science Publishers LTD, London 1976. — *A. Albrecht*, Bauschäden, Vermeiden, Untersuchen, Sanieren. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin '1977. — *E. Schild, R. Oswald, D. Rogier, H. Schweikert*, Schwachstellen, Band II, Aussenwände und Öffnungsanschlüsse. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin 1977. — *K. Gösele, W. Schüle*, Schall, Wärme, Feuchtigkeit. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin '1977. (Prijevod: Zvuk, toplost, vlag. Građevinska knjiga, Beograd 1979.) — *V. Šilhard*, Suvremeno građenje. DIT-VTGŠ, Zagreb '1977. — *R. Albrecht*, Bauschäden. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin 1977. — *R. Rybicki*, Bauschäden am Tragwerken. Werner Verlag GmbH, Düsseldorf 1978. — *B. Dartsch*, Konserverieren, Sanieren, Restaurieren. Beton-Verlag GmbH, 1978. — *E. Schild, R. Oswald, D. Rogier, H. Schweikert*, Schwachstellen, Band III, Keller-Dräagen. Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin 1978. — *B. M. Moskvin, F. M. Ivanov, C. N. Alexeev, E. A. Guze*, Korrozija betona i jelozobetona, metody ikh zashchity. Stroizdat, Moskva 1980. — *V. Šilhard*, Suvremeno građenje. DIT, Zagreb '1981.

G. Stanuga V. Ukrainčik

PESTICIDI, kemijska sredstva za uništavanje štetočina i nametnika (naziv prema latinskom *pestis kuga i occidere ubiti*). Pod tim se pojmom u prvom redu razumijevaju kemijski preparati za zaštitu bilja od štetočina, tj. od životinjskih i biljnih organizama koji oštećuju ili uništavaju korisne biljke i njihov urod u toku rasta ili nakon žetve. Većina tih štetočina uništava i namirnice, neki od njih oštećuju ili uništavaju različite materijale (v. *Drvno*, TE 3, str. 437 i 454), a kao paraziti ili prijenosnici uzročnika zaraznih bolesti mogu ugrožavati i zdravlje ljudi i životinja. U štetočine se u tom smislu ne ubraju izravni uzročnici bolesti, pa su sredstva za borbu protiv njih opisana u drugim člancima (v. *Antibiotici*, TE 1, str. 302; v. *Lijekovi*, TE 7, str. 503).

Najviše se štetočina i nametnika nalazi u životinjskom svijetu (insekti, grinje, crvi, miševi, štakori, puževi, neke vrste ptica, rjeđe i divljač), ali to mogu biti i biljke (alge, gljivice i više biljke kao npr. korov itd.). Prema tome se razlikuju i pojedine vrste pesticida. Među najvažnije se ubraju insekticidi (kemijska sredstva protiv insekata), herbicidi (protiv korova), fungicidi (protiv gljivica), akaricidi (protiv grinja), rodenticidi (protiv gledavaca), nematocidi (protiv nematoda) i moluskicidi (protiv makušaca), najčešće limacidi (protiv puževa). Rjeđe se upotrebljavaju avicidi (sredstva protiv ptica), zatim sredstva protiv algi, protiv biljnih bakterija i biljnih virusa, itd.

Borba ljudi protiv štetočina i nametnika započela je davno, čim su ljudi počeli uzgajati na jednom mjestu biljke od kojih su imali koristi. Time je bila poremećena prirodna prostorna raspodjela tih biljnih vrsta i stvoreni su posebno dobri uvjeti za razmnožavanje nametnika i štetočina. Kako je potreba za poljoprivrednim proizvodima sve više rasla, tako su i obradene površine bivale sve veće i opasnost od zaraze je rasla. Zapis o štetama od najezdi štetočina datiraju iz vremena VI egipatske dinastije i često su njihove posljedice bitno utjecale na privredne, socio-loške i političke prilike. Prvobitne metode za suzbijanje štetočina i nametnika bile su ručno odstranjuvanje i okopavanje. U XIX stoljeću cijena poljoprivrednih proizvoda i ljudskog rada mnogo je porasla, dok se cijena nekih proizvoda kemijske industrije toliko snizila da je zaštitu bilja postalo ekonomično upotrebljavati i kemijska sredstva.

Sredstva protiv štetočina dobivena od duhana upotrebljavala su se već prije dvije stotine godina u obliku samljevenog lišća ili ekstrakta, a već 1828. godine otvoren je aktivni sastojak duhana, nikotin. Među prirodne insekticide ubraja se i piretrum, sadržan u cvijetu buhača. Intenzivna upotreba buhača počinje 1840. godine u Dalmaciji, koja je bila njegov glavni proizvođač sve do prvoga svjetskog rata, a poslije rata to postaje Južna Afrika.

Fungicidna svojstva sumpora poznata su već tri tisuće godina, a djelovanje spojeva bakra, sumpora i žive također je odavno znano. Živa-kloridom zaštitivalo se drvo u XVIII st. Pariško zelenilo, bakar(II)-acetat-arsenit, koji je ranije služio kao pigment, počeo se upotrebljavati kao sredstvo za borbu protiv krumpirove zlatice oko 1860. godine, a uskoro zatim pojavilo se i tzv. londonsko crvenilo, smjesa kalcij-arsenita i kalcij-arsenata, pa su to potkraj XIX st. bili najrašireniji insekticidi. Insekticidna smjesa sumpora s vapnom služila je za zaštitu voćnjaka od 1880. godine, a još 1865. upotrebljavao se kerozin za zaštitu narandžinih stabala od insekata. Godine 1892. po prvi put se kao insekticid primijenio jedan sintetski organski spoj, kalijeva sol dinitro-*ortho*-krezola.

Velika prekretnica u primjeni insekticida bila je 1940. godina, kada je otkriveno vrlo jako i svestrano insekticidno djelovanje diklorodifiltrilokretana, nazvanog di-di-ti (DDT). To je bio uvod u masovnu i vrlo intenzivnu primjenu sintetskih organskih spojeva u suzbijanju i uništavanju štetnih insekata.

Organofosforni spojevi upotrebljavaju se kao insekticidi od 1945. godine, a sedam godina kasnije tvornica Geigy plasirala je karbamate kao novu vrstu insekticida.

Borba protiv korova kemijskim sredstvima razvijala se polako između 1930. i 1942. godine, uglavnom upotrebo natrij-arsenita za zaštitu željezničkih pruga te upotrebo mineralnih ulja za zaštitu putova. Veoma se napredovalo na tom polju 1942. godine otkrićem djelovanja 2,4-diklorfenoksioctene kiseline, koja se i danas mnogo upotrebljava, iako na tržištu postoji više od 150 selektivnih organskih herbicida.

Važno otkriće u primjeni fungicida bila je smjesa vapna i bakar-sulfata, kojom je A. Millardet 1882. godine zaštitio vinovo lovu od peronospore. Ta smjesa, nazvana bordoškom juhom, upotrebljava se uz neka poboljšanja sve do danas, iako su oko 1930. godine otkrivena fungicidna svojstva ditiokarbata, a kasnije su sintetizirana i druga djelotvorna fungicidna sredstva.

Iako se za borbu protiv štetočina sve više primjenjuju i biološka sredstva (virusi, hormoni, različiti mikroorganizmi s pesticidnim djelovanjem), a rjeđe fizička sredstva (npr. djelovanje topline, primjena zračenja), pesticidi su najrašireniji, najčešće se upotrebljavaju i troše u velikim količinama. Suvremena poljoprivreda ne može se više zamisliti bez upotrebe umjetnih gnojiva, ali isto tako bez primjene pesticida. Zahvaljujući pesticidima znatno se umanjuju moguće štete i gubici od štetočina na njivama, u voćnjacima, u vrtovima, u vinogradima i u šumama te na uskladištenim biljnim proizvodima i namirnicama. Primjena pesticida omogućuje zbog toga veće prinose pojedinim kultura i bitno doprinosi porastu proizvodnosti rada u poljoprivredi, ublažavajući tako sve veću potrebu za hranom u mnogim dijelovima svijeta. Danas su, također zahvaljujući primjeni pesticida, bitno smanjene ili posve uklonjene opasnosti od potpune propasti čitavih godišnjih žetvi, koje su u prošlosti zbog masovne pojave štetočina, npr. najezdne skakavaca ili širenja krumpirove zlatice, uzrokovale glad s katastrofalnim posljedicama. Osim toga, tek upotrebojem pesticida uspijelo se ublažiti ili praktički potpuno iskorijeniti neke raširene bolesti koje su tisućljećima harale i desetkovale pučanstvo. Primjer za to je malarija, koja je počela uzmicati, a na mnogim je područjima umjerenog pojasa i sasvim nestala, tek uništavanjem njena prenosioča, komarca anofeleesa, pomoću insekticida.

Primjena pesticida ima i velikih nedostataka i krije u sebi mnoge opasnosti. U prvom redu to su uglavnom odreda spojevi otrovnji za ljudi i životinje. S obzirom na to treba razlikovati toksičnu od letalne doze. *Toksična* je doza minimalna količina spoja sposobna da uzrokuje otrovanje organizma, bilo da se unese u organizam odjednom ili u manjim količinama tokom dužeg vremena. *Letalna* je doza minimalna količina otrovnog spoja koja, unijeta odjednom u organizam, uzrokuje njegovu smrt. Uobičajeno je da se letalna doza navodi kao tzv. *srednja letalna doza* (LD_{50}). To je količina otrovnog spoja dovoljna da uzrokuje smrt 50% jedinki koje su gaapsorbirale. Srednja letalna doza izražava se u miligramima otrovnog spoja na 1 kg žive vase toplokrvnih životinja. Kako se takva ispitivanja provode najčešće na štakorima (trovanje uglavnom oralnim putem), jasno je da takav podatak služi samo orientacijski pri ocjenjivanju otrovnosti spojeva na veće toplokrvne životinje i na ljudski organizam.

S obzirom na otrovno djelovanje pesticida na ljude razlikuje se akutna od kronične otrovnosti većine pesticida. Akutna otrovnost je opasna za proizvođače pesticida, za osobe koje njima rukuju i koje ih primjenjuju, ali se uobičajenom zaštitom takva opasnost može svesti na minimum. Mnogo je opasnija kronična otrovnost pesticida, jer njoj može biti izloženo mnoštvo potrošača, poljoprivrednih proizvoda i njihovih prerađevina, koje se u toku rasta ili skladištenja zaštitivalo pesticidima od štetočina. Poznata su masovna trovanja hranom koja je bila onečišćena pesticidima. Naime, na poljoprivrednim proizvodima mogu se zadržati male količine pesticida koje mogu biti opasne za zdravlje, osobito ako su pesticidi naneseni prskanjem. U ekološkom smislu pesticidi se smatraju izrazitim onečišćivačima okoliša i mogu se unijeti u organizam i neizravno, npr. potrošnjom mlijeka, maslaca ili mesa. Ispoljavanje kronične otrovnosti nekog pesticida ovisit će o trajanju njegova djelovanja, tj. o vremenu potrebnom za njegovu razgradnju, o načinu