

INSTITUT PRO VÝCHOVU VEDOUČÍCH PRACOVNÍKŮ CHEMICKÉHO PRŮMYSLU

UČEBNÍ TEXTY

RADA:



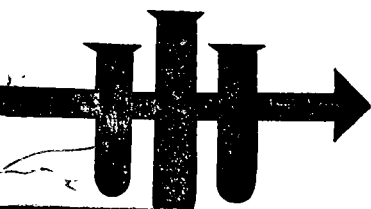
NOVÉ STAVEBNÍ MATERIÁLY A JEJICH APLIKACE V CHEMICKÉM PRŮMYSLU

Ing. RICHARD BAREŠ CSc.

ÚTAM - ČSAV - Praha

Katedra výchovy specialistů

PRAHA - PROSINEC 1967



	Str.
3.4.3. Hysterese	79
3.4.4. Vliv teploty	81
3.4.5. Ostatní	82
4. Popis některých plastických hmot	83
4.1. Polyetylen	83
4.2. Polyisobutylen	91
4.3. Polyvinylchlorid	93
4.4. Polyvinylidenchlorid	94
4.5. Polyfluoretyleny	95
4.6. Polypropylen	96
4.7. Polyamidy	96
4.8. Polyuretany	97
4.9. Polystyreny	97
4.10 Polymery kyseliny akrylové a metakrylové	99
4.11 Fenolformaldehydové pryskyřice	101
4.12 Močovinoformaldehydové (karbamidové) pryskyřice ...	101
4.13 Polyesterové pryskyřice	102
4.14 Epoxydové pryskyřice	104
4.15 Furanové pryskyřice	104
5. Pryže	106
5.1. Přírodní kaučuky	106
5.2. Syntetické kaučuky	109
5.3. Silikonový kaučuk	112
5.4. Nátěrové hmoty kaučukové	114
5.5. Povrchové ochrany stříkáním plastických hmot a kaučuků	115
5.5.1. Metoda žárového stříkání	115
5.5.2. Stříkání pružnými hmotami	116
6. Zvláštní výrobky z plastických hmot	118
6.1. Folie	118
6.1.1. Folie z polyvinylchloridu	118
6.1.2. Folie z odpadového PVC- folie K	120
6.1.3. Polyetylenové folie	121
6.1.4. Polypropylenové folie	121
6.1.5. Polyamidové folie	122
6.1.6. Polyizobutylénové folie	122
6.1.7. Polyvinylfluoridové folie	122
6.1.8. Polystyrenové folie	123

	Str.
6.1.9. Polyvinylidenchloridové folie	123
6.1.10 Kaučukové folie	123
6.1.11 Zpracování folií	123
6.2. Trouby, trubky, tvarovky, profilované kusy	124
6.2.1. Potrubí z PVC	124
6.2.2. Polyetylenové potrubí	125
6.2.3. Polypropylenové potrubí	126
6.2.4. Polyamidové potrubí	126
6.2.5. Polymethylmetakrylátové potrubí	128
6.2.6. Jiné druhy termoplastů na potrubí	128
6.2.7. Kovové potrubí s ochrannou vrstvou z plas- tických hmot	128
6.2.8. Ostatní druhy potrubí	129
6.3. Jiné výrobky	129
7. Střešní krytiny z plastických hmot	130
7.1. Střešní krytiny z organického skla (polymethylme- takrylátů)	130
7.2. Střešní krytiny z vinylových polymerů	131
7.3. Střešní krytiny z faalitu	132
7.4. Střešní krytiny z polyesterových laminátů	132
8. Zpracování plastických hmot	137
8.1. Ohýbání	137
8.1.1. Ohýbání trubek	137
8.1.2. Ohýbání desek a tvrdých folií	137
8.2. Spojování plastických hmot	138
8.2.1. Lepení	138
8.2.1.1. Lepení termoplastů	139
8.2.1.2. Lepení termosetů	140
8.2.1.3. Postup lepení	142
8.2.2. Svařování	143
8.2.2.1. Svařování horkým plynem	144
8.2.2.2. Vysokofrekvenční svařování	146
9. Plastbetony	147
9.1. Výběr vhodných plastických hmot	147
9.2. Technologie plastbetonů	150
9.3. Vlastnosti plniva	152
9.4. Vlastnosti pojiva	154
9.5. Poměry míšení	155

	Str.
9.6. Zpracování a ošetření	160
9.7. Pevnost	161
9.8. Srovnání různých plastbetonů	164
9.9. Kontrola výroby, spotřeba hmot a cena	165
9.10. Závěr.....	167
10. Polymerbetony	169
10.1. Polymerbetony s přísadou furylalkoholu	170
10.2. Betony s přísadou syntetických latexů	173
10.3. Polymerbetony s přísadou polyvinylacetátu	174
10.4. Jiné přísady polymerů do cementových betonů	178
11. Faolit	180
12. Nепropustný grafit	182
13. Skelné lamináty	184
14. Lehčené plastické hmoty	195
14.1. Lehčené fenoplasty	196
14.2. Lehčené močovinoformaldehydové hmoty	197
14.3. Lehčený polystyren	198
14.4. Lehčené polyuretany	199
14.5. Lehčený polyvinylchlorid	200

Ing. Richard B a r e š C.Sc.

Ústav teoretické a aplikované mechaniky

Československé akademie věd

Praha 2., Vyšehradská č.49.

(Texty k přednáškám pro školení stavebních
techniků chemického průmyslu, téma 2.4-2.7)

1. Úvod

I v tak konkrétním tématu lze začít filosoficky - citátem Disterwega, jehož pravdivost nelze neuznat:

"To lidské v člověku je vnitřní aktivita. Je možné člověka ztvárňovat prostřednictvím jiných lidí a on sám je schopen se vzdělávat jen tak dalece, jak daleko sahá jeho vnitřní aktivita. Každý jiný názor ve výchově vede k formalismu a k pedagogické administrativě."

Mým úkolem je podat vám v celkem 32 hodinách co nejjasnější a nejpřehlednější formou souhrn informací o nových stavebních materiálech, a to anorganických, tzv. tradičních i organických - tedy o plastických hmotách. O to se budu snažit. Vaším úkolem pak zůstává vyvolat u sebe zájem, vnitřní aktivitu. Budete-li se o to snažit vy, myslím, že akce splní plně svůj úkol: umožní vám, abyste bez velké ztráty času, s minimální námahou získali přehled o možnostech ochrany stavebního díla, které nám dávají nejmodernější poznatky, abyste dovedli moderně a ekonomicky tyto možnosti využít a v neposlední řadě, abyste ve svých mateřských závodech a podnicích - jednotkách ministerstva chemického průmyslu - mohli vyvíjet maximální tlak k uskutečnění chemických výrob potenciálně potřebných pro stavební praxi u silně exponovaných staveb - zejména ...
v chemickém průmyslu. Tím umocníte své praktické zkušenosti.

Je možné, že zdánlivě nebude vždy text přesně sledovat ohlášenou osnovu; odchýlil jsem se ale od ní jen formálně, pro zachování pedagogického řádu a věcné souslednosti. Obsahově je však text úplný.

Lidská snaha je věci známé neustále zlepšovat. Tak jako přecházíme od letadel vrtulových k tryskovým a od nich k supersonickým, tak i ve využití materiálů (a to s tím ostatně úzce souvisí) hledáme stále nové cesty:

- snažíme se jednak o zlepšení tradičních - již užívaných materiálů cestou odstraňování náhodných i systematických chyb k dosažení ideálních, většinou dnes již známých (nebo dobře hypotetovaných) vlastností;
- snažíme se dále nalézat stále nové a nové materiály splňující stále se zvyšující požadavky po lepší kvalitě, ale i větší šíři (koncentraci) kvalitních vlastností;
- nakonec dočasně si vypomáháme i kompromisy, když nové materiály kombinujeme se starými k dosažení prosté kombinace vlastností obou partnerů u výsledného materiálu. Přitom je dobře vidět, že kombinace jsou zatím vyžadovány oboustranně: jak k ovlivnění vlastností tradičních hmot novými, tak i nových hmot tradičními.

Mnohdy budeme pod pojmem nové materiály anorganické zahrnovat i ty, které vlastně nové nejsou. Většinou je ale nové jejich používání v běžné praxi, přesto, že jsou již známy hezkou řádku let.

Z nových hmot pro stavebnictví nejdůležitější jsou hmoty plastické, kterým také věnujeme největší pozornost už proto, že na středních i vysokých školách je jim většinou věnována zanedbatelná pozornost.

Máme-li přistoupit k hodnocení účinku korose na stavební dílo, přesněji na stavební materiály, je třeba se snažit nejprve tyto účinky rozčlenit. Je ovšem těžké najít přesné hranice účinků. Přesto můžeme rozdělit korosi podle jejich charakteristických účinků na

- korosi fyzikální, jejímž charakteristickým znakem je mechanické porušování v důsledku pórových či krystalických tlaků
- korosi chemickou, při níž dochází k chemickému narušení základních stavebních částic materiálu a oslabení struktury
- korosi fyzikálně-chemickou, vyznačující se rozklíňujícím účinkem jako důsledek nasávání desadhesivních látek, rušících mezifázové vztahy.

V častých případech v praxi se setkáváme s korosí kombinovanou, např. častá je současná korose chemická a fyzikální. Záleží při tom ovšem na materiálu.

U kamene a keramiky je typická korose fyzikální, jako např. vlivem mrazu, ledku, ale často i vlivem pouhé vlhkosti. V prvním případě jde o porušování krystalickými tlaky, ve druhé pórovými tlaky. Příčinou zvýšení pórových tlaků mohou být i osmotické jevy.

Cementový beton a malty, o nichž se dá říci, že jsou dnes hlavním materiálem ve stavebnictví, bez nichž si sotva dovedeme představit jakoukoliv stavbu, podléhá korosi fyzikální i chemické, často v některém agresivním prostředí současně oběma. Častý je případ, kdy jedna korose podmiňuje a podporuje druhou. Příkladem toho je působení síranů. Většinou je však beton porušován korosí chemickou, neboť každé trvalé kyselé působení způsobující vymývání a tím snížení koncentrace vápenných solí má za následek postupný rozpad materiálu. Rovněž působí zhoubně hladové vody a nakonec všechno, co nějakým způsobem vymývá vápno. Beton podléhá také korosi fyzikálně-chemické, např. při trvalém působení olejů.

Proto v chemickém průmyslu, kde dochází k přímému styku konstrukce s různými agresivními látkami, ale i k namáhání parami a různými exhalacemi, není beton ideálním materiálem. To se ještě zesiluje

u betonu vyztuženého, kde zcela odlišná korose kovů, postupující je u všech nesporeálních látek z povrchu, je provázána následným porušováním betonu velkými tlaky, vznikajícími při tvorbě rzi. Tak dochází k odlupování krycích vrstev a otvírá se další cesta k ještě rychlejší a účinnější korosi jak výztuže, tak i betonu.

Ještě ožehavější je situace u předpjatého betonu, kde velký relativní povrch předpinací výztuže (malé průměry) je při napadení korosním prostředím příčinou silného a rychlého snížení její únosnosti, s nebezpečím náhle, nijak nesignalisované destrukce. Zvláště nevhodné je používání dodatečně (na místě) spinaných konstrukcí z dílců, kde zůstává výztuž mezi jednotlivými díly odkrytá nebo nedostatečně chráněná.

Než přistoupíme k detailnějšímu popisu nových materiálů, které jednak chrání, jednak modifikují a konečně nahrazují cementový beton, všimněme si vlastní odolnosti cementového betonu různým agresivním prostředím, s nimiž se setkáváme v průmyslu a věnujme též pozornost krátkému popisu hlavních příčin porušení. Takové hodnocení je uvedeno v tabulce 1, v abecedním pořádku podle chemického prostředí.

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku ^{*)}	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
1.	Aldohyd kyseliny mravenčí (formaldehyd, methanal)	+++	farmaceutický a chemický průmysl; sklad chemikálií, barvařské cechy, kožodělné podniky	Lehce se mění na kyselinu mravenčí. Vodíkové kationty reagují s hydroxydovými anionty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně ionizovanou vodu, což vede k silnému snížení koncentrace vápna v betonu	Použití nepropustného betonu s nátěrem z vodního skla nebo s impregnací fluáty. Nátěr syntetickými pryskyřicemi.
2.	Alkoholy	++	Lihovary	Lih působí jako činitel vozu přijímající a brzdicí tvrdnutí	Obklady z plastbetonů, keramické, faolit
3.	Amid sodný	++	Chemický průmysl	S vodou tvoří hydroxyd sodný a amoniak. Hromadění krystalů solí v pórech. Pevnost klesá bez vnějších příznaků porušení.	Nátěry na bázi perchlorvinylu. Asfaltové nátěry, okratování. Nepoužívat hlinitanový, puzolanový a struskoportlandský cement.
4.	Amoniak	++	Chemický průmysl (výroba sody, hnojiv)	Hromadění krystalů solí v pórech. Pevnost klesá bez vnějších příznaků porušení.	Nátěry na bázi perchlorvinylu, asfaltové nátěry, okratování. Nepoužívat hlinitanový, puzolanový a struskoportlandský cement.
5.	Antracén (antracénový olej)	++	Podniky na výrobu antracénových barviv, koksochemické a plynárenské závody	Vodíkové kationty reagují s hydroxydovými anionty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně ionizovanou vodu, což vede k silnému snížení koncentrace vápna v betonu. Při hydrolyse se rozkládají na alkoholickou složku a na kyselé komponenty (zmýdelnění). Při reakci s hydroxydem vápenatým vzniká glyceran vápenatý, porušující beton	Při 50%ní koncentraci - nátěry na bázi perchlorvinylu, z polyisobutylenu nebo vinylplastu. Při 25%ní koncentraci je možno použít asfaltobeton.
6.	Bakterie anaerobní	++	Hnojiště, bahna vodních nádrží, hluboká vrstva půdy, mořská voda	Snížení pevnosti betonu	Nátěry perchlorvinylové, vinylchloridové, etinolové
7.	Bakterie denitrifikační	+++	Půdy vodních nádrží, mrva, vlhká slehlá půda, říční, jezerní a mořská voda	Tvoří kyselinu sírovou, která porušuje povrchovou vrstvu betonu. Do betonu vnikající sírany reagují s hydroxydem vápenatým, tvoří	Nátěry perchlorvinylové, vinylchloridové, etinolové. Nátěr kamennouhelným dehtem.

^{*)} Pro stupeň účinku byla přijata označení: 0 - bezpečné, + - podmíněně bezpečné, ++ - nebezpečné, +++ - velmi nebezpečné

Pořadové číslo	Látka	stupen účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
8.	Bakterie máselného kvašení	+++	Voňavskářský, potravinářský průmysl	Pokračování č. 7 se str. 5.: hydrosulfohlinitan vápenatý, porušující beton Vyvolávají máselné kvašení, čímž vzniká kyselina pyrohroznová a dále přesmykáním se mění na kyselinu máselnou. Při hydrolýze se rozkládají na alkoholickou složku a na kyselé komponenty (zmýčelně- ní). Při reakci s hydroxydem vápe- natým vzniká glyceran vápenatý, porušující beton	Nátěry perchlorvinyllové, vinyl- chloridové, etinolové
9.	Bakterie nitrifikační	+++	V půdě, vodě, základy vodo- jemů	Oxydují amoniak na kyselinu dusi- tou. Vodíkové kationty reagují s hydroxydovými anionty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně ionizo- vanou vodu, což vede k silnému snížení koncentrace vápna v beto- nu	Nátěry perchlorvinyllové, vinyl- chloridové, etinolové.
10.	Bakterie purpurové sírné	+++	Minerální prameny sírných vod, zátoky a limany, od- padní vody	Tvoří kyselinu sírovou. Síranové anionty při reakci s hydrohlini- tanem tvoří krystaly hydrosulfo- hlinitanu vápenatého (cementový bacil), vyvolávající silné mecha- nické porušení betonu	Terkretování, napouštění fluáty, nátěry metaloizolem
11.	Bakterie purpurové nesírné	+++	Řeky a vodní nádrže, obsa- hující organickou látku a nenasycené sirovodíkem	Redukce kyseliny uhličité probí- há na vrub vodíku organických látek. Tvoří dobře rozpustný octan vápenatý. Vodíkové kation- ty reagují s hydroxydovými anion- ty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně ionizovanou vodu, což ve- de k silnému snížení koncentrace vápna v betonu	Terkretování, napouštění fluáty, nátěry metaloizolem
12.	Bakterie sírné	++	Voda a půda	Při nedostatku sirovodíku v půdě se vylučuje síran a tvoří se ky- selina sírová. Síranové anionty	Použití cementu, obsahujícího méně než 5% C ₃ A nebo puzzolanový a struskoporný

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
				Pokračování č.12 se str. 6 při reakci a hydroxylinitanem tvoří krystaly hydrosulfonlitanu vápenatého (cementový bacil) vyvolávající silné mechanické porušení betonu.	landský cement, které mají méně než 3% kysličníku hlinitého. Použití asfaltobetonu nebo dehtobetonu. Okratování,
13.	Benzen, toluen	++	Destilace kamenného uhlí	Vniká do betonu, snižuje jeho pevnost bez pozorovatelných znaků porušení	Okratování, pokrytí vrstvou omítky do 15-20 mm
14.	Benzin sirný a etylovaný	0	Nádrže na uchovávání nafty	Vniká do betonu, neporušuje ho	Nátěr 3,5%ním roztokem vodního skla. Použití zahušťovacích přísad: bentonitové hlíny (5%), sulfátové výluhy (0,1 - 0,2%). Plastbetony, polymerbetony.
15.	Borax (tinkal)	+	Sklady chemikálií	Hromadění krystalů solí v pórech	Nátěr kamennouhelnými pryskyřicemi. Použití vysokovazkých portlandských cementů.
16.	Brom a jeho sloučeniny NaBr, KBr, NH ₄ Br, ZnBr ₂ aj.	++	Chemický a farmaceutický průmysl, dobývání zlata, fotografický průmysl	Vznik místních napětí	Asfaltové nátěry, nátěry bitumenolem, perchlorvinyllový nátěr. Použití asfaltobetonu a dehtobetonu.
17.	Bromičnan rtuťnatý	++	Farmaceutický průmysl a dobývání zlata	Vznik místních napětí	Obklad z desek z fenolitu, polyvinylchloridovým linoleem. Asfaltové nátěry, nátěry bitumenolem, perchlorvinyllový nátěr. Použití asfaltobetonu a dehtobetonu.
18.	Bromid a iodid fosforu, fosfor-sesquihalové sloučeniny	++	Chemický průmysl	Vznik místních napětí	Asfaltové nátěry, nátěry bitumenolem, perchlorvinyllový nátěr. Použití asfaltobetonu a dehtobetonu.
19.	Bromid a iodid titanu	++	Chemický průmysl	Viz čl. 18.	Viz čl. 18.
20.	Cukr, sacharosa, sirupy, melasa, aj.	+++	Potravinářský průmysl, cukrovary	Při 0,1%ním roztoku vzniká sacharát, který brání procesu tvrdnutí betonu	Nátěr na základě epoxydových pryskyřic, latexem, faolitem, vinylplastem. Napouštění fluáty (do 3 cm).

Pořadové číslo	Látka	stupen účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
21.	Dáivý vinný kámen	++	Farmaceutický, textilní průmysl, výroba laků	Snadno se rozpouští ve vodě. Při vysychání podléhá vlivu kysličníku uhličitého, čímž v pórech vzniká krystalická soda a potaš. Korose v důsledku krystalisace uhličitánu draselného, vznikající pod vlivem kyseliny uhličitě v pórech materiálu. Viz. čl. 4.	Nátěr perchlorvinyllovým lakem a asfaltem rozpustěným v benzenu
22.	Desinfekční látky	+++	Podniky zabývající se přípravou, uchováváním a zpracováním živočišných surovin, jatka	Vodíkové kationty reagují s hydroxydovými anionty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně ionizovanou vodu, což vede k silnému snížení koncentrace vápna v betonu, agresivní účinek chloru v důsledku vzniku místního pnutí, při vysychání podléhá vlivu kysličníku uhličitého, čímž v pórech vzniká krystalická soda a potaš. Korose v důsledku krystalisace uhličitánu draselného, vznikající pod vlivem kyseliny uhličitě v pórech materiálu, vniká do betonu, snižuje jeho pevnost, síranové anioty při reakci s hydrohlinitanem tvoří krystaly hydrodulfohlinitánu vápenatého (cementový bacil), vyvolávají silné mechanické porušení betonu, tvoří dobře rozpustný octan vápenatý (podle použitých prostředků)	Použití cementu, obsahujícího méně než 5% C ₃ A nebo obsahujícího puzzolánový a struskoportlandský cement, které mají méně než 3% kysličníku hlinitého. Použití asfaltobetonu a dehtobetonu. Okratování. Nátěr grafitoplastem (antegmit), polyizobutylem, vinylplastem, použití folie z PVC a faalitu.
23.	Dusičnan amonný (amonium-nitrát, ledek amonný)	++	Sklady pro uchovávání zemědělských hnojiv, podniky pro výrobu dusíkatých hnojiv	Rozpouští a odnáší hydroxyd vápenatý z betonu, přičemž nevyvolává žádné pozorovatelné vnější příznaky porušení	neprodyšná ochranná vrstva a spolehlivý povrchový nátěr (kamenouhelný lak v poměru 1:1 s perchlorvinyllovým lakem, asfaltové laky, fenolformaldehyd, glyptalový lak, bitumenol)
24.	Dusičnan barnatý (ledek barnatý)	++	Chemický průmysl	Vodíkové kationty reagují s hydroxydovými anionty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně ionizovanou vodu, což vede k silnému snížení koncentrace vápna v betonu, Viz čl. 23	Viz čl. 23.

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
21.	Dáivý vinný kámen	++	Farmaceutický, textilní průmysl, výroba laků	Snadno se rozpouští ve vodě. Při vysýchání podléhá vlivu kysličníku uhličitého, čímž v pórech vzniká krystalická soda a potaš. Korose v důsledku krystalisace uhličitánu draselného, vznikající pod vlivem kyseliny uhličitě v pórech materiálu. Viz. čl. 4.	Nátěr perchlorvinylovým lakem a asfaltem rozpuštěným v benzenu
22.	Desinfekční látky	+++	Podniky zabývající se přípravou, uchováváním a zpracováním živočišných surovin, jatka	Vodíkové kationty reagují s hydroxydovými anionty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně ionizovanou vodu, což vede k silnému snížení koncentrace vápna v betonu, agresivní účinek chloru v důsledku vzniku místního pnutí, při vysýchání podléhá vlivu kysličníku uhličitého, čímž v pórech vzniká krystalická soda a potaš. Korose v důsledku krystalisace uhličitánu draselného, vznikající pod vlivem kyseliny uhličitě v pórech materiálu, vniká do betonu, snižuje jeho pevnost, síranové anioty při reakci s hydroxylitanem tvoří krystaly hydroxylfoslitanu vápenatého (cementový bacil), vyvolávají silné mechanické porušení betonu, tvoří dobře rozpustný octan vápenatý (podle použitých prostředků)	Použití cementu, obsahujícího méně než 5% C ₃ A nebo obsahujícího puzzolánový a struskoportlandský cement, které mají méně než 3% kysličníku hlinitého. Použití asfaltobetonu a dehtobetonu. Okratování. Nátěr grafitoplastem (antegmit), polyizobutylenem, vinylplastem, použití folie z PVC a faolitu.
23.	Dusičnan amonný (amonium-nitrát, ledek amonný)	++	Sklady pro uchovávání zemědělských hnojiv, podniky pro výrobu dusíkatých hnojiv	Rozpouští a odnáší hydroxyd vápenatý z betonu, přičemž nevyvolává žádné pozorovatelné vnější příznaky porušení	neprodyšná ochranná vrstva a spolehlivý povrchový nátěr (kamennouhelný lak v poměru 1:1 s perchlorvinylovým lakem, asfaltové laky, fenolformaldehyd, glyptalový lak, bitumenol)
24.	Dusičnan barnatý (ledek barnatý)	++	Chemický průmysl	Vodíkové kationty reagují s hydroxydovými anionty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně ionizovanou vodu, což vede k silnému snížení koncentrace vápna v betonu, Viz čl. 23	Viz čl. 23.

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
25.	Dusičnan draselný (kalium-nitrát, ledek draselný)	++	Chemický průmysl a výroba skla; sklady s hnojivy	Viz čl. 24.	Viz čl. 23.
26.	Dusičnan měďnatý	++	Chemický průmysl	Viz čl. 24.	Viz čl. 23.
27.	Dusičnan olovnatý (plumbum-nitrát)	++	Chemický průmysl	Viz čl. 24.	Viz čl. 23.
28.	Dusičnan sodný (natrium-nitrát, ledek sodný nebo chilský)	++	Chemický průmysl	Viz čl. 24.	Viz čl. 23.
29.	Dusičnan stříbrný (argent-nitrát, lapis)	++	Fotografický průmysl, podniky vyrábějící zrcadla	Viz čl. 24.	Viz čl. 23.
30.	Dusičnany	++	Viz čl. 24 - 29	Viz čl. 24.	Viz čl. 23.
31.	Dusitany	++	Chemický průmysl, sklady chemických hnojiv	Jsou solemi kyseliny dusité. Vodíkové kationty reagují a hydroxydovými anionty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně ionizovanou vodu, což vede k silnému snížení koncentrace vápna v betonu	Viz čl. 23.
32.	Fekálie	+	Kanalizační sítě, podlahy v chlévech a konárnách	Snížení pevnosti betonu	Nátěry perchlorvinylové, vinylchloridové, atynolové, použití vápenného plniva; plastbetony, přísada vápna za účelem zvýšení $pH > 10$. Tmelení hlinitanovým tmelem.
33.	Fenol	++	Chemický a farmaceutický průmysl	Působí jako organická kyselina. Viz čl. 31.	Nátěry latexem, fenolformaldehydem, faolitem, epoxydovými pryskyřicemi. Napouštění fluátů. Používat plastbeton. Ošetření chemickými prostředky.
34.	Fluor a fluorid křemičitý	++	Chemický průmysl (výroba hliníku, superfosfátu)	Při koncentraci větší než 0,0005 mg/ml vzniká fluorid vápenatý, který se snadno vymývá z betonu	Pokrytí relinem, polystyrenem, nepropustným grafitem, ebonitem, používat plastbeton.
35.	Fluorid rtuťnatý	++	Chemický průmysl	Tvorba fluoridu vápenatého a snížení koncentrace hydroxydu vápenatého	Nátěr furfurolovým a perchlorvinylovým lakem

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
36.	Fluorid sodný (natrium-fluorid)	+	Chemický průmysl, ve formě minerálů (willemit, kryolith)	Je solí kyseliny fluorovodíkové, viz čl. 34.	Viz čl. 34.
37.	Fluorid titanu a fosforu	++	Chemický průmysl	Tvoří fluorid (fluorid vápenatý), porušující strukturu betonu	Nátěr furfurolovými a perchlorvinylými laky.
38.	Galenit, leštěnec olověný	+++	Minerál	Účinkem vody vzniká sirovodík a hydroxyd železnatý se silným zvětšením objemu	Nelze použít jako plnivo do betonu
39.	Gazolin	+	Průmysl zpracovávající ropu, garáže	Viz čl. 13	Použití cementu odolného proti síranům a hlinitanového cementu
40.	Glycerin	+++	Farmaceutický průmysl; výroba kopírovacího papíru a inkoustu, výroba plastických hmot, výroba mýdla	Váže se pomalu s volným hydroxydem vápenatým v ztvrdlém cementu a rozpouští ho. Silně působí na beton čerstvě zhotovený z portlandského cementu	Při 2%ní koncentraci - ošetření povrchu syntetickou pryskyřicí; při 10%ní - napouštění fluáty
41.	Horniny a minerály: pyrit, opál, chalcedon, tridymit, sklovité a kryptokrystalické andesity a tufy, opálové křemičité břidlice, sylvin	+++	Výroba stavebních materiálů	Tvoří kyselinu sírovou a hydroxyd železitý, porušující beton. Reaguje alkaliemi cementu	Nepoužívat jako plnidla pro beton.
42.	Fosforečná hnojiva	++	Chemický průmysl, sklady hnojiv	Vznik místních napětí	Viz čl. 18.
43.	Minerální hnojiva	++	Chemický průmysl, sklady hnojiv	Viz čl. 4, 24. Zvýšená nepropustnost síranu vápenatého v roztoku síranu amonného, přičemž vzniká podvojná sůl. Síranové anionty při reakci s hydrohlinitanem tvoří krystaly hydrosulfohlinitanu vápenatého (cementový bacil), vyvolávající silné mechanické porušení betonu.	Viz 18, 23, 24; nátěr grafitoplastem (antemit), polyizobutylem, vinylplastem, použítí folie z PVC a faolitu
44.	Hnůj (humus)	++	Podlahy v chlévech a kornárnách, výroba organominerálních granulovaných hnojiv a rašel.květináč.humusů	Humus obsahující kysličník fosforečný, který přechází na kyselinu fosforečnou. Viz čl. 24.	Použít asfaltobeton, cementobeton a asfaltové nátěry

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
45.	Hydroxyd sodný 10%ni (kaustická soda)	++	Chemický, textilní, naftový, potravinářský, farmaceutický průmysl. Mydlářská a kožedělná výroba.	Při vysychání podléhá vlivu kysličníku uhličitého, čímž v pórech vzniká krystalická soda a potaš. Korozí v důsledku krystalisace uhličitanu draselného, vznikajícího pod vlivem kyseliny uhličité v pórech materiálu	Nátěr na bázi perchlorvinylu. Použití asfaltový beton a dehtobeton a vápencovým nebo dolomitovým plnidlem.
46.	Hyposulfit (thosíran sodný)	++	Textilní, koželužský a fotografický průmysl	Hromadění krystalů solí v pórech	Použití asfaltobetonu nebo dehtobetonu. Ochranná vrstva z ruberoidu s dehtovými nátěry, nátěr na bázi perchlorvinylu
47.	Chlor a chloridy	+++	Chemický, farmaceutický průmysl, hydrometallurgické cechy, zemědělské sklady	Porušení probíhá v důsledku místních pnutí	Viz čl. 18.
48.	Chlorečnan draselný (Bertholletova sůl)	++	Chemický průmysl, výroba zápalak	Agresivní účinek chloru v důsledku vzniku místního pnutí	Viz čl. 18.
49.	Chlorid amonný (amonium-chlorid, salmiak) 0,5%ni	+++	Sklady hnojiv, výroba barviv, potiskování tkanin	Viz čl. 24 a účinek kationtů chloridu amonného	Použití nepropustného betonu s nátěrem z vodního skla nebo s impregnací fluátů. Při koncentraci do 5% - použití hlinitanového cementu
50.	Chlorid cínatý (SnCl_2) a chlorid ciničitý (SnCl_4)	++	Chemický průmysl, výroba hedvábí, potiskování látek, barvářské podniky	Kationty hliníku reagují s anionty hydroxydu vápenatého, tvoří ve vodě dobře rozpustný hydroxyd hlinitý, čímž snižují koncentraci vápna až do úplného jeho rozpuštění	Viz čl. 18.
51.	Chlorid draselný	++	Sklady hnojiv, chemický průmysl	Viz čl. 48.	Viz čl. 18.
52.	Chlorid hlinitý	++	Při krakovacích pochodech, podniky pro syntézu složitých organických sloučenin, výroba apretur a barviv	Viz čl. 50	Viz čl. 18.

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
53.	Chlorid hořečnatý	++	Výroba xylolitu, magnesiového cementu	Viz čl. 50.	Viz čl. 18.
54.	Chlorid rtuťnatý (sublimát)	++	Chemický průmysl, desinfekční prostředek	Vniká do betonu, snižuje jeho pevnost	Ošetření vodním sklem. Pokrytí keramickými dlaždičkami, folií z vinylplastu
55.	Chlorid sírný (sulfurmonochlorid)	++	Chemický průmysl	Dobře se rozpouští ve vodě. Viz čl. 48.	Viz čl. 18.
56.	Chlorid sodný (kuchyňská sůl)	++	Ve formě minerálu galitu; chemický a potravinářský průmysl; mydlářská a kožedělná výroba	Viz čl. 50.	Viz čl. 18
57.	Chlorid vápenatý (kalciumpchlorid) při koncentraci nad 10%	++	V půdě ve formě křemičitanů; farmaceutická výroba	Viz čl. 48	Viz čl. 18.
58.	Chrysen	+++	Chemický průmysl	Při hydrolyze se rozkládají na alkoholickou složku a na kyselé komponenty (zmýdelnění). Při reakci s hydroxydem vápenatým vzniká glyceran vápenatý, porušující beton	Nátěry latexem, fenolformaldehydem, faolitem, epoxydovými pryskyřicemi. Napouštění fluáty. Používat plastbeton. Ošetření chemickými prostředky
59.	Jod a jeho sloučeniny	++	Chemický, farmaceutický a fotografický průmysl	Porušení v důsledku vzniku místního pnutí	Metalizování železem, okratování
60.	Kamenec draselný: hlinito-draselný, chromito-draselný, železito-amonný	+++	Kožedělný, textilní, farmaceutický a fotografický průmysl	Síranové anionty při reakci s hydrohlinitanem tvoří krystaly hydrosulfhlinitanu vápenatého (cementový bacil), vyvolávající silné mechanické porušení betonu	Použití cementu, obsahujícího méně než 5% C ₃ A nebo obsahujícího puzzolanový a struskoportlandský cement, které mají méně než 3% kysličníku hlinitého. Použití asfaltobetonu a dehtobetonu. Okratování.
61.	Kamenec železito-amonný	+++	Titrace stříbra	Viz čl. 60.	Viz čl. 60.
62.	Káva a kakao	+++	Potravinářský průmysl	Tvorba cukru a organických kyselin. Při 0,1%ním roztoku vzniká sacharát, který brání procesu tvrdnutí betonu	Nátěr latexem, napouštění fluáty
63.	Koks	++	Struskové haldy, sklady koksu	Přítomnost sírných sloučenin. Viz čl. 60.	Isolace dehtovou lepenkou, brizolem, gudronem, mastnou hlinou. Použití kyselinovzdor. cementu

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
64.	Krmivo	+	Krmné věže	Obsahuje kyselinu mléčnou. Při koncentraci větší než 1% reaguje kyselina s hydroxydem vápenatým, tvoří krystalický mléčan, porušující beton	Obklady termoplasty. Omítka s poměrem cementu a písku 1:2; s následným metalizováním železem
65.	Kůra s obsahem tříslovin	++	Koždělný, potravinářský a farmaceutický průmysl, výroba vína, kakaa	Obsahuje cukr, fenoly, organické kyseliny. Při 0,1% roztoku vzniká sacharát, který brání procesu tvrdnutí betonu	Fluatování, nátěr metaloisoem a polymerocementovými složkami
66.	Kyselina arseničná	++	Farmaceutický průmysl, sklady chemikálií	Při velké koncentraci viz čl. 24.	Při 50% koncentraci - nátěry na bazi perchlorvinylu z polyizobutylénu nebo vinylplastu. Při 25% koncentraci je možno použít asfaltobeton.
67.	Kyselina dusičná	+++	Podniky vyrábějící dusíkatá hnojiva, organické mikrolátky, nitrocelulosu, umělá vlákna	Viz čl. 24	Viz čl. 66.
68.	Kyselina fluorovodíková	+++	Výroba hliníku, superfosfátu, cechy pro elektrolyzu	Viz čl. 34.	Viz čl. 34.
69.	Kyseliny fosforečné H_3PO_4 , HPO_3	++	Chemický, potravinářský, textilní průmysl; výroba hnojiv	Viz čl. 24	Viz čl. 60
70.	Kyselina ftaľová	++	Výroba glyptalových laků, barviv	Viz čl. 24	Viz čl. 58 a 66.
71.	Kyselina huminová	+++	V půdách, stýkajících se s močalovými vodami	Kysličníky hliníku a železa reagují a kyselinou a tvoří ve vodě dobře rozpustné soli, porušující beton	Použití kyselinovzdorného betonu, asfaltobetonu, dehtobetonu
72.	Kyselina chloroplastičitá	+++	Chemický průmysl	Viz čl. 50.	Viz čl. 66.
73.	Kyselina karbolová, fenol a jeho deriváty (pyrogalol, resorcin, hydrochinon, vanilin, kyselina styfnová	+++	Výroba anilinových barviv, farmaceut. a voňavkářský průmysl, výroba umělých pryskyř. a uměl. hmot	Viz čl. 24.	Použití nepropustného betonu s nátěrem z vodního skla nebo s impregnací fluáty. Obklady z kyselinovzdor. mastixu, plastbetony

Pořadové číslo	Látka	Stupeň účinku	Kde se vyskyt je	Příčina porušení	Ochranná opatření
74.	Kyselina kyanovodíková (kyanovodík)	+++	Chemický průmysl	Viz čl. 24.	Viz čl. 73.
75.	Kyselina linolová, laurová, olej z lisovaného sádla	+++	V oleji lněném, slunečnicovém, makovém, bavlníkovém, při výrobě lakových barev a v potravn. průmyslu. Výroba mýdla.	Viz čl. 24 nebo 58	Viz čl. 58, 66.
76.	Kyselina máslná	+++	Potravinářský, voničkářský a koželužský průmysl.	Při reakci s hydroxydem vápenatým vzniká octan vápenatý. Viz čl. 58.	Viz čl. 73
77.	Kyselina mléčná při 5% koncentraci	+++	Máslařské a sýrařské závody. Kvasná výroba. Textilní a farmaceutický průmysl, kožedělná výroba, silážní jámy	Viz čl. 24.	Při koncentraci 1% nátěr petrolátem, Metalizování železem, Přísada asfaltové emulze (3-5% na váhu cementu), plastbetony, nad 1% obklad vinylplastem, polystyrénovými deskami aj., plastbetony
78.	Kyselina močová	++	Kanalizační vody, podlahy v chlévech a konárnách	Vzniká ve stojaté moči (viz čl. 24). Urolytické bakterie močoviny tvoří čpavek a kyselinu uhličitou, (viz čl. 4 a kyselina uhličitá způsobuje přeměnu hydroxydu vápenatého na uhličitán a kyselý uhličitán, které porušují strukturu betonu	Tmel křemičitanem sodným, okratování, použit hlinitanový cement. Přísada vápna za účelem zvýšení pH 10. Použití vápeného plniva, plastbetony. Tmelení hlinitanovým tmelem.
79.	Kyselina mravenčí	+++	Kožedělné podniky, barvířské cechy	Viz čl. 24.	Viz čl. 73.
80.	Kyselina oátová	+++	Potravinářský, chemický, farmaceutický průmysl	Tvoří dobře rozpustný octan vápenatý. Viz čl. 24.	Použití plastbetonu. Nepoužívat hlinitanový a puzzolanový cement, nátěr faclitem, vinylplastem, polyizobutylenem
81.	Kyselina olejová	+++	Potravinářský průmysl, podniky na zpracování vlny	Viz čl. 24	Viz čl. 73.
82.	Kyselina palmitová	+++	Potravinářský průmysl	Při zmýdelnění tuků vzniká stearin. Viz čl. 24.	Viz čl. 66 a 73
83.	Kyselina pimelová	+++	Výroba umělých vláken	Viz čl. 24	Viz čl. 73

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
84.	Kyselina pyrohroznová	+++	Farmaceutický průmysl	Viz čl. 24.	Viz čl. 73
85.	Kyselina pyrosírová	+++	Chemický průmysl	Účinkem vody vzniká sirovodík a hydroxyd železnatý se silným zvětšením objemu	Použití nepropustného betonu, kyselinovzdorného cementu. Okratování. Ochranná jílová stěna.
86.	Kyselina sírová	+++	Chemický, naftový a textilní průmysl, strojírenství, barevná metalurgie, kožedělné podniky, sklady chemikálií	Viz čl. 60.	Viz čl. 43
87.	Kyselina solná (koncentrace větší než 1 mg/l)	+++	Chemický průmysl	Vzniká chlorid vápenatý. Viz čl. 24.	Nátěr laky a emaily na basi furylových a perchlorvinylových pryskyřic. Nátěry vinylplastem, faclitem, polyizobutylenem
88.	Kyselina tiosírová (kyselina sirnatá)	+++	Chemický, fotografický průmysl	Rychle se rozkládá na kyselinu siřičitou a sírovou. Viz čl. 60	Viz čl. 43.
89.	Kyselina vinná	+++	Potravinářský průmysl	Tvorba dobře rozpustné soli	Použití kyselinovzdorných cementů. Nátěr asfaltovou barvou nebo pryskyřičným lakem. Nepoužívat hlinitanového a struskoportlandského cementu.
90.	Kysličník dusitý N_2O_3 , kysličník dusnatý NO , kysličník dusičitý NO_2 , kysličník dusný N_2O	++	Chemický průmysl: dusíkatá hnojiva, výroba anilínových barviv	Reagují s hydroxydem vápenatým, tvoří ve vodě dobře rozpustnou sůl dusičnanu vápenatého	Viz čl. 23.
91.	Kysličník fosforečný	++	Chemický průmysl (syntesa organických látek), hnojiva	Viz čl. 24.	Používat hlinitanový nebo sulfátovzdorný cement
92.	Kysličník uhličitý (15-20mg/l)	+++	Kouř (tunely, nádraží)	Kyselina uhličitá způsobuje přeměnu hydroxydu vápenatého na uhličitán a kyselý uhličitán, které porušují strukturu betonu	Použití struskoportlandského nebo hlinitanového cementu. Použití rubraxu. Torkretování, fluatování.
93.	Kysličník zinečnatý a olovnatý	+++	Chemický průmysl	Nepatrná příměs v cementu zpomaluje dobu tuhnutí a snižuje pevnost betonu	Chránití místa přípravy betonu před olovnatým a zinečnatým prachem

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
94.	Ledky (draselny, sodny aj.)	++	Chemický průmysl, fotografický průmysl, podniky vyrábějící zrcadla, výroba skla, sklady s hnojivy,	Viz čl. 24.	Viz čl. 23.
95.	Louh draselny při koncentraci nad 30% KOH	+++	Chemický průmysl, výroba mýdla, nabíjení akumulátorů	Vlivem kysličníku uhličitého v pórech betonu se tvoří krystalická soda a potaš. Korose v důsledku krystalisace uhličitánu draselného, vznikajícího pod vlivem kyseliny uhličitě v pórech materiálu	Nepoužívat hlinitanové puzzolanové rozpínající se cementy. Natěry polyizobutylenem. Viz čl. 45.
96.	Lysol	++	Výroba draselného mýdla	Viz čl. 24.	Viz čl. 73.
97.	Másló kokosové (tuk)	+++	Výroba mýdla, margarínu	Obsahuje organické kyseliny. Viz čl. 58.	Viz čl. 58.
98.	Másló kravské	+++	Máslářský průmysl	Obsahuje organické kyseliny. viz čl. 58.	Viz čl. 58.
99.	Mazut sirný	+	Naftový průmysl, sklady hořlavin	Po roce ztrácí beton nasycený petrolejem 15% pevnosti bez vnějších příznaků korose	Přidávat chlorid vápenatý a chlorid sodný s hydrofobizovanou bentonitovou hlinou (3-5% váhy cementu) ke snížení filtrace petroleje; při tom se zvyšuje i jakost betonu; polymerbetony, plastbetony. Viz čl. 139.
100.	Mléko	++	Máslářské a sýrařské závody	Obsahuje organické kyseliny a mléčné bakterie. Vyvolávají máselné kvašení, čímž vzniká kyselina pyrohroznová a dále přesmykováním se mění na kyselinu máselnou. Viz čl. 24 a 58.	Natěr petrolátem. Metalizování železem. Přísada asfaltové emulze (3-5% na váhu cementu), plastbetony
101.	Midin	++	Mořská voda	Vylučuje kyselinu uhličitou, porušující ochrannou uhličitánovou vrstvu betonu	Použít struskoportlandská a hlinitanový cement. Přísada trassu. Fluatování
102.	Mýdla sodná nafténových kyselin	+	Sklady	Viz čl. 99.	Viz čl. 99.

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
103.	Nafta	+++	Sklady hořlavin	Beton po roce ztrácí 50% své pevnosti bez vnějších příznaků korozního účinku	Použití hlinitanového cementu nebo sulfátorezistentního portlandského cementu s přísadou chloridu vápenatého nebo sodného, plastbetony, polymerbetony
104.	Nitrid rtuti HgN_2 a dusitan rtuťnatý $HgNO_2$	+++	Chemický průmysl	Rozpouští a odnáší hydroxyd vápenatý z betonu, přičemž nevyvolává žádné pozorovatelné vnější příznaky porušení	Obklady z desek z fenolitu, polyvinylchloridovým linoleem
105.	Ocetanhydrid	+++	Voňavkářský, farmaceutický, celulozový průmysl, výroba barviv	Viz čl. 24.	Viz čl. 73.
106.	Octan amonný	+++	Chemický průmysl	Viz čl. 24.	Viz čl. 73.
107.	Octan olovnatý	++	Chemický a farmaceutický průmysl	Hromadění krystalů solí v pórech. Pevnost klesá bez vnějších příznaků porušení	Viz čl. 73.
108.	Oleje koksárenské	+++	Chemický průmysl, koksochemická výroba	Viz čl. 58.	Viz čl. 58.
109.	Olej konopný	+++	Výroba fermeží, draselného mýdla, farmaceutický průmysl	Obsahuje organické kyseliny. Viz čl. 58.	Jako čl. 108. Okratování.
110.	Olej kostní	+++	Výroba mýdla, mazadel	Obsahuje organické kyseliny. Viz čl. 58.	Viz čl. 58.
111.	Olej lněný	+++	Potravinářský průmysl, výroba fermeží, linolea, voskovaného plátna	Obsahuje organické kyseliny. Viz čl. 58.	Viz čl. 58.
112.	Oleje mazací naftového původu	+	Mechanické dílny, garáže atd.	Vniká hluboko do betonu, postupně ho rozrušuje	Viz čl. 99. Použití puzzolánový portlandský cement, struskoportlandský cement, cement vzdorující síranům a hlinitanový cement. Jílová stěna tlustá nejméně 3 cm. Plastbetony.
113.	Olej olivový	+++	Potravinářský průmysl, výroba mýdla	Skládá se z organických kyselin. Viz čl. 58.	Viz čl. 58.

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
114.	Olej ořechový	+++	Potravinářský, voňavkářský průmysl	Viz čl. 58.	Viz čl. 59 .
115.	Olej palmový	++	Potravinářský průmysl	Viz čl. 58.	Viz čl. 59 a 73 .
116.	Olej parafinový	++	Naftový průmysl	Snižuje pevnost betonu bez vnějších příznaků porušení	Viz čl. 73 .
117.	Olej ricinový	+++	Výroba olejových laků, umělých pryskyřic, fermeží, barvení vláken, farmaceutický průmysl	Obsahuje organické kyseliny. Viz čl. 58.	Viz čl. 58.
118.	Olej strojní	++	Naftový průmysl, podniky na obrábění kovů	Po roce beton ztrácí 50% své pevnosti bez vnějších příznaků porušení	Použití hlinitanového a sulfatovzdorného portlandského cementu a přísadou chloridu sodného, plastbetony, polymerbetony
119.	Olej zelený antracenový	++	Kokschemické a plynárenské závody	Viz čl. 24.	Viz čl. 73. .
120.	Ovocné šťávy	++	Potravinářský průmysl	Obsahuje 10-15% cukru a 0,6-1,5% organických kyselin. Při 0,1%ním roztoku vzniká sacharát, který brání procesu tvrdnutí betonu	Nátěr na základě epoxydových pryskyřic, latexem, faolitem, vinylplastem. Fluatování (do 3 cm).
121.	Parafin	0	Výroba zápalek, tužek, vaseliny atp.; apretace tkaniny	Lehce vniká do betonu, který neporušuje	Nátěr lihovými roztoky pryskyřic získaných ze dřeva (midozat, degronit)
122.	Peroxyd sodíku	++	Chemický průmysl	Při pomalé reakci s vodou ochlazenou na 0° vzniká hydroxyd sodný a peroxyd vodíku. Při vysychání podléhá vlivu kysličníku uhličitého, čímž v pórech vzniká krystalická soda a potaš. S vlhkým kysličníkem uhličitým vzniká uhličitán sodný, korose v důsledku krystalisace uhličitánu draselného, vznikajícího pod vlivem kyseliny uhličitě v pórech materiálu	Viz čl. 45.

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
123.	Petrolej sirný	+	Naftový průmysl, sklady hořlavin	Viz čl. 99.	Viz čl. 99.
124.	Pivo	+	Pivovary	Při kvašení vzniká kyselina mléčná a octová. Viz čl. 24.	Při koncentraci 1% viz čl. 100, nad 1% - obklad vinyplastem, polystyrenovými deskami aj., plastbetony
125.	Plyn koksárenský	++	Hutnický průmysl	Viz čl. 107.	Viz čl. 4.
126.	Plyn obsahující kysličník siřičitý SO ₂ , kysličník sírový SO ₃	++	Chemický průmysl, místnosti pro máčení obilí, železniční tunely	Viz čl. 60	Asfaltové nátěry. Použití síranovzdorného portlandského cementu. Viz čl. 60.
127.	Plyny kouřové	++	Potrubí k odvádění plynů z kotlů	Porušujícím faktorem jsou amonné soli, zvýšená rozpustnost síranu vápenatého v roztoku síranu amonného, přičemž vzniká podvojná sůl. Viz čl. 24, 60 a účinek kationtů chloridu amonného	Dodatečné přivádění vzduchu do potrubí nebo dodatečná tepelná izolace. Použití keramických trubek nahoře se rozšiřujících a instalace asbesto-cementových trubek v horní části kouřovodů. Silikonové plastbetony.
128.	Podmáslí	++	Máslárny, pekárny chleba, cukrářské podniky	Obsahuje kyselinu mléčnou. Viz čl. 24.	Viz čl. 124
129.	Popel hnědého uhlí	+++	Tepelné elektrárny	Obsahuje sírany, dobře se ve vodě rozpouštějí	Izolace rubrazem, brizolem, gudronem, jílovou stěnou. Přísada trasu.
130.	Povidla	+++	Cukrářské podniky	Obsahuje 60% cukru. Při 0,1%ním roztoku vzniká sacharát, který brání procesu tvrdnutí betonu	Nátěr na základě epoxydových pryskyřic, latexem, faolitem, vinyplastem, fluatování (do 3 cm)
131.	Půdy s obsahem tenarditu, termonatritu, galitu	+++	Země se suchým teplým klimatem	Při zavlažování půdy - překrystalování solí, jimiž se vyplňují póry vnějších vrstev betonu, čímž vzniká vnitřní tlaky, dosahující několika kg/cm ²	Ochrana jílovou stěnou, ruberoidem. Ochrana nižších částí budov před slunečními paprsky. Nepoužívat puzzolanový portlandský cement, hydrofobisace
132.	Pyretriny	+++	Sklady chemikálií	Působí jako organické kyseliny. Viz čl. 24.	Viz čl. 73.
133.	pyrit (kř. železný)	+++	Výroba kyseliny sírové	Viz čl. 60.	Nelze použít jako plniva. Viz čl. 60.

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
134.	Pyrolýzní benzen	++	Sklady hořlavin, naftový průmysl	Vniká do betonu, snižuje jeho pevnost	Okratování, pokrytí vrstvou omítky do 15-20 mm
135.	Pyrogalol	+++	Chemický a fotografický průmysl	Viz čl. 24.	Viz čl. 73.
136.	Pyrokatechin (izomery-hydrochinon, resorcin)	+++	Farmaceutický, chemický a fotografický průmysl; výroba barviv	Viz čl. 24.	Viz čl. 73.
137.	Pyrosíran draselný	+++	Chemický průmysl	Viz čl. 85.	Viz čl. 85.
138.	Pyrotin (kř. magnetový)	+++	Metalurgický průmysl (ve formě minerálu)	Tvoří kyselinu sírovou a hydroxyd železitý, porušující beton. Reaguje s alkaliemi cementu.	Viz čl. 60.
139.	Ropa sírná	+	Naftový průmysl	Dobře vniká do betonu a po čase vyvolává snížení jeho mechanické pevnosti	Tokretování (3 cm). Viz čl. 99. Použit puzzolánový portlandský cement, struskoportlandský cement, cement vzdorující síranům a hlinitanový cement. Jílová stěna tlustá nejméně 3 cm. Plastbetony.
140.	Roztok síry	+++	Chemický průmysl, sklady chemikálií	Tvorba síranových solí. Viz čl. 60.	Viz čl. 43, 60.
141.	Ruda arsenová	+++	Sklářský, farmaceutický průmysl, kožedělné podniky, barvářské cechy	Viz čl. 60.	Viz čl. 60.
142.	Rudy rtuťové	++	Naleziště rudy	Viz čl. 138	Nepoužívat jako plniva pro beton.
143.	Selen, selenidy	++	Sklářský a chemický průmysl	Působí na beton podobně jako siričky. Viz čl. 60.	Viz čl. 60.
144.	Siláž	+	Silážní nádrže	V kyselé siláži je obsaženo 0,5-1% kyseliny mléčné a jiných kyselin. Viz čl. 24.	Pro horní vrstvu viz čl. 100, 64, pro dolní viz čl. 130
145.	Síran amonný (amonium-sulfát)	+++	Sklady hnojiv	Zvýšená rozpustnost síranu vápenatého v roztoku síranu amonného, přičemž vzniká podvojná sůl. Viz čl. 60.	Použití síranovzdorného cementu (při koncentraci do 3%). Viz čl. 43.

číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
146.	Síran céru	+++	Fotografický průmysl	Viz čl. 60.	Viz čl. 60
147.	Síran draselný	+++	Nachází se v přírodních solích (kainitu, schönitu); při výrobě kamenců, potaše, draselných hnojiv	Viz čl. 60.	Viz čl. 43 a 60.
148.	Síran hlinitý 1%ní	+++	Koželužská výroba, výroba hlinitých solí a papíru	Viz čl. 60.	Viz čl. 60.
149.	Síran hořečnatý (hořká sůl)	+++	Mořská voda, ve formě minerálů (kainit, astrachanit, pyrogalit), výroba hnojiv, magnesitových cementů (Sorelův)	Viz čl. 60	Viz čl. 60. Nepoužívat minerálů jako plniva.
150.	Síran chromu	+++	Chemický průmysl	Viz čl. 60.	Použití síranuvzdorného cementu (při koncentraci do 3%). Viz čl. 43.
151.	Síran rtuťnatý	+++	Chemický průmysl	Viz čl. 60.	Viz čl. 60.
152.	Síran vápenatý (anhydrid)	+++	Výroba stavebních materiálů	Viz čl. 60.	Viz čl. 60.
153.	Sírané sloučeniny fosforu	+++	Výroba zápalek, chemický průmysl	Viz čl. 60.	Viz čl. 60.
154.	Sírník sodný	++	Výroba barviv, kožedělné podniky	Viz čl. 60.	Viz čl. 60 a 73.
155.	Sírník vápenatý (kalciump-sulfid)	++	Koželužský, textilní průmysl, výroba viskosy	Účinkem vody vznikají síranové ionty. Viz čl. 60.	Nátěr asfaltem, gudronem, ochrana ruberoidem, dehtovou lepenkou, borulinem, jílovou stěnou, Fluátování.
156.	Sírovodík	++	Textilní průmysl	Viz čl. 60.	Viz čl. 43.
157.	Sířičitan draselný (kalium-sulfid)	+++	Potiskování tkanin, fotografický průmysl	Při reakci s hydroxydem vápenatým vzniká sůl kyseliny sírové. Viz čl. 60.	Viz čl. 43 a 60.
158.	Sířičitan sodný, a síran sodný (Glauberova sůl)	+++	Chemický průmysl	Viz čl. 60.	Hydrofobisace. Použití betonu s přísadou abietanu sodného. Viz čl. 60.

Pořadové číslo	Látka	stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
159.	Sířičitan sodný kyselý	+++	Potravinářský průmysl; kože- dělná a voňavkářská výroba	Viz čl. 157.	Viz čl. 60.
160.	Skalice modrá (síran měďnatý), bílá (síran zinečnatý), síran kobaltnatý, zelená (síran železnatý), síran nikelnatý	+++	Hornictví, metalurgie železa a barevných kovů, textilní a farmaceutický průmysl	Viz čl. 60.	Viz čl. 43.
161.	Soli draselné	+++	Chemický průmysl, sklady hnojiv	Snadno rozpustné ve vodě. Viz čl. 60	Viz čl. 60.
162.	Soli strontnaté: bromid, jodid, chlorid	++	Chemický a farmaceutický průmysl a výroba barviv	Velmi dobře rozpustné ve vodě. Vznik místních napětí.	Viz čl. 18.
163.	Stearin a kyselina stearová	+++	Textilní, papírenský a ce- lulosový průmysl, mydlárny a výroba pryže	Viz čl. 58.	Viz čl. 58.
164.	Sulfokyseliny	++	Chemický, farmaceutický průmysl, výroba barviv	Viz čl. 60.	Použití síranovzdorného cemen- tu (při koncentraci do 3%). Viz čl. 43 a 60
165.	Sulfurylchlorid	+++	Chemický průmysl	Viz čl. 50.	Viz čl. 18.
166.	Škváry	++	Místa u kolejnic	Obsahuje síranové soli. Viz čl. 60.	Viz čl. 129.
167.	Terpentýn (terpentinový olej)	+	Farmaceutický, voňavkářský a chemický průmysl	Vniká hluboko do betonu, postup- ně ho porušuje	Používat nepropustný beton. Viz čl. 134.
168.	Tionyl-chlorid SOCl_2	+++	Farmaceutický průmysl, výroba barviv	Při účinku vody se rozkládá za vzniku kyseliny siřičité a kyseliny solné. Viz čl. 60.	Viz čl. 43.
169.	Roztoky obsahující trísloviny	++	Koželužské závody	Obsahuje různé kyseliny. Viz čl. 24.	Nátěr petrolátem neb fermeží. Použití kyselinovzdorných ce- mentů. Metalizování železem.
170.	Tuky, mastné kyseliny	+++	Podniky na výrobu plastic- kých hmot, pryže, fermeží, laků, barev, mýdel, kože- lužský, textilní a potravin. průmysl	Viz čl. 58.	Viz čl. 58.
	Uhličitan amonný (amonium- karbonát)	++	Cukrářské podniky, pekár- ny	Při uchování na vzduchu se odštěpuje amoniak. Viz čl. 107.	Viz čl. 4.

Pořadové číslo	Látka	Stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
172.	Uhličitan draselný (kalium-karbonát, potaš) při 10%ní koncentraci	++	Při výrobě mýdla, těžkotalivitého a křišťálového skla, výroba barviv, fotografický průmysl	Koroze v důsledku krystalisace uhličitanu draselného, vznikajícího pod vlivem kyseliny uhličitě v pórech materiálu	Viz čl. 45.
173.	Uhličitan hořečnatý (magnesium-karbonát)	++	Ve formě minerálů, farmaceutický průmysl, výroba tepelně-isolačních materiálů	Viz čl. 172.	Viz čl. 45. Minerál nelze použít jako plnivo.
174.	Uhličitan sodný při koncentraci nad 20%	+	Průmysl sody a potravin	Viz čl. 172.	Viz čl. 45.
175.	Uhličitan kyselý vápenatý a sodný	+	Potravinářský průmysl	Hromadění krystalů solí v pórech	Nátěr kamenouhelnými pryskyřicemi. Použití vysokovazných portlandských cementů.
176.	Uhlí	+++	Uhelný průmysl, místa pro uskladňování uhlí	Viz čl. 129.	Viz čl. 129.
177.	Vápno chlorové (chlornan vápenatý)	++	Desinfekční prostředky	Viz čl. 48.	Viz čl. 18.
178.	Víno	0	Nádrže na uchovávání vína	Čerstvý beton ovlivňuje chuť vína	Ošetření povrchu betonu vodným roztokem kyseliny vinné (1:3). Nátěr polyetylenovým filmem.
179.	Voda kondenzační (chudá na sůl)	++	Propařovací komory, lázně	Rozpouští a unáší hydroxyd vápenatý	Použití aktivních přísad obsahujících kysličník křemičitý (tras, křemelina aj.)
180.	Voda mořská	++	Mořské stavby	Ionty hořečnaté reagují s anionty hydroxydu vápenatého a tvoří špatně rozpustný hydroxyd hořečnatý. Síranové ionty vnikají hluboko do betonu a při reakci s vápenatými ionty tvoří sulfohlinitan vápenatý. Viz čl. 60.	Použití cementu s obsahem C_3A menším než 6%. Nátěr asfaltem, epoxydovými pryskyřicemi, plastbetony
181.	Vody odtokové s velkou koncentrací síranových solí	+++	Metalurgie železa, chemický a textilní průmysl, koksochemické a koželužské podniky, výroba hnojiv	Oxydace sirovodíku za tvorby kyseliny sírové (zvláště nebezpečné při zvýšené teplotě). Přechnodná tvorba tiosíranů a polytionanů, porušujících beton. Rychlost agrese 6,3 - 12,7 mm ročně.	Přísada vápna za účelem zvýšení pH 10. Použití vápenatého plniva, plastbetony, tmelení hlinitanovým tmelem.

Pořadové číslo	Látka	Stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
182.	Vody odtokové nesrážkové	++	-	Kyselá reakce. Dokonce i nepatrná množství kysličníku sirového vyvolává porušení betonu	Použití kameninových rour, spojených kyselinovzdorným cementem, plastbetony
183.	Voda podzemní při obsahu síranů do 3000 mg/l	+	Základy budov	Obsahuje soli kyseliny sirové. Viz čl. 60.	Použití struskoportlandského a puzzolánového cementu.
184.	Voda podzemní	+	Podzemní stavby	Za přítomnosti kyseliny uhličitě jsou agresivní, viz čl. 92.	Viz čl. 179.
185.	Voda povrchová	+++	Pramenná voda, slaniskové půdy, mokřiny, blátivé půdy	Vyluhování. Zvýšená kyselost v důsledku přítomnosti huminových kyselin nebo kyseliny sirové, které se hromadí při dlouhém stání srážkových vod na povrchu	Viz čl. 179. Fluátování nebo torokretování
186.	Voda říční	+	Říční stavby	Rozpouští a unáší hydroxyd vápenatý	Použití puzzolánového cementu se zhutňujícími přísadami
187.	Voda sádrová	+++	Výroba stavebních materiálů	Porušení vlivem hromadění se a růstu krystalů solí v pórech betonu	Viz čl. 60.
188.	Vody síranové (0,1%-0,2%ní)	++	Vodojemy, irigační zařízení s obsahem chloridů	Tvorba sulfohlinitanu vápenatého (viz čl. 60), se zvýšením koncentrace se mění sulfohlinitanová korose na sádrovou	Viz čl. 180. Při 0,5%ní koncentraci - použití puzzolánového cementu
189.	Vody uhličitě (15-20 mg/l)	+++	Chemický a farmaceutický průmysl, pivovary, důlní vody, kanalizační studny	Hydroxyd vápenatý přechází na rozpustnější sůl - na kyselý uhličitán vápenatý	Puzzolánové přísady, torokretování, speciální asfaltové nátěry. Napouštění fluáty. Jílová stěna (15-20 mm)
190.	Vosky v roztocích	++	Voskovny, farmaceutická a kosmetická výroba, výroba elektroisolačních a tvarovacích hmot, mastixu, výroba kotoučů pro zvukové záznamy	Viz čl. 58.	Viz čl. 58.
1.	Výluh sulfitový	+++	Chemický průmysl, slévárství (výroba litiny)	Viz čl. 60.	Torokretování (2-3 cm) a použití kyselinovzdorných dlaždiček.
2.	Zeli kyselá	++	Potravinářský průmysl, zásobovací skladiště	Viz čl. 64.	Viz čl. 100.

řadové číslo	látka	Stupeň účinku	Kde se vyskytuje	Příčina porušení	Ochranná opatření
93.	Železo : sirič, siričatan, sirič	+++	Struskové haldy, uhelné sklady	Viz čl. 85.	Viz čl. 85

V koncepčních řešeních staveb v chemickém průmyslu mělo by být zásadou vyhýbat se takovým základním (konstrukčním) materiálům a systémům, k jejichž ochraně je třeba používat nákladné - a vždy po čase nespolehlivé- tzv. těžké izolace.

V případech, kdy to nelze, je třeba učinit taková opatření, která předejdou přímým příčinám porušování. Tak např. k zabránění fyzikální koroze, je třeba zamezit vstupu korodujících prostředí do pórů materiálů. Znamená to, že není třeba provádět celistvý ochranný plášť, ale jen takový penetrační nátěr, který bezpečně, do jisté hloubky, se dá říci "zalepí" veškeré t.j. malé i větší póry. Ochrana před chemickou korozí je většinou možná jen těžkým ochranným isolačním pláštěm, nebo lépe, použitím vhodného konstrukčního antikorosního materiálu.

Pro beton byla již také nalezena řada způsobů, jak jeho chemickou odolnost zvýšit, bohužel jen málokterý způsob - ke škodě uživatelů - se vžil. Často se používá nákladné ochrany jen proto, že se vůbec, nebo jen nepřesně ví o takových prostých ochranách v mnohých případech úplně dostatečných. Takové úpravy - o nichž bude podrobnější výklad v jiných přednáškách jsou především okratování, fluátování a použití dalších nátěrů utěsňujících póry (parafin, ceresin) nebo vázajících volné vápno v betonu (vodní sklo, kyselina šťavelová). Moderním způsobem dobré vodoodpuzející ochrany proti agresivním exhalacím jsou silikonové nátěry. Mohou to být roztoky silikonových pryskyřic v rozpouštědlech, nebo vodné roztoky metylsilanolátu sodného (u nás Lukofob). Zpracovávají se nátěry nebo stříkáním při různém ředění. Přeměna na nerozpustný a vodu odpuzující ochranný film nastává působením ve vzduchu obsaženého kyslíčnicku uhličitého za 3 - 14 dní. Vzniklý film je pórovitý, umožňuje sice "dýchání" zdiva, pro ochranu konstrukcí namáhaných agresivní kapalinou pod tlakem (nádrže) se nehodí. V tabulce I jsou uvedeny také některé možné způsoby ochrany betonu proti pů-

sobení uvedených agresivních činidel.

Dobrym a perspektivním opatřením pro zvýšení chemické odolnosti betonu je použití penetrace vhodnými plastickými hmotami jako např. furfurylalkoholem a pod. nebo použití plastické hmoty jako příměsi do betonu (furfurylalkohol, latexy, PVAc a pod.). O těchto materiálech bude ještě dále podrobnější výklad.

2. Nové anorganické materiály

Snaha zachovat výborné vlastnosti betonu jako stavebního materiálu (rychlost výroby, tvarovatelnost atd.) a současně úplně odstranit nedostatky cementového betonu v agresivním prostředí vedla k zavedení nových pojiv namísto původního cementového pojiva.

2.1. Kyselinovzdorný beton

Nahrazením cementu pojivem z vodního skla vznikl tzv. kyselinovzdorný beton často u nás nazývaný K-beton, o jehož výzkum a zavedení u nás se nejvíce zasloužil Dr. Cibulka z Výzkumného ústavu stavebních hmot v Brně. Základními složkami, ze kterých se kyselinovzdorný beton vyrábí jsou především minerální plnivo (písek, štěrky), vodní sklo (sodné, draselné) a přísady, urychlující tvrdnutí.

Plnivo kyselinovzdorného betonu se liší od plniva betonu obvyčejného jen tím, že obsahuje i moučku (nahrazující jemnou frakci tvořenou u betonu cementem). Jako urychlovač tuhnutí se obvykle používá fluorokřemičitan sodný a přidává se do nejjemnějších frakcí plniva již při mletí, aby se zajistilo jeho dokonalé a jemné rozptýlení. Je-li zajištěno účinné míchání směsi, lze přidávat urychlovač tuhnutí až při míchání. Pro plnivo je nejlépe používat tyto horniny: čedič, žulu, diabas, andesit, diorit, křemenec a pod. Vlhkost použitého písku nemá být větší než 3%, štěrku 0,5% a moučky 2%. Z použitého plniva musí být alespoň 96% odolné kyselinám. Zrnitost

plniva má být taková, aby se získala co nejhutnější směs. Je lépe používat směsi přetržitých než směsi s plynulou křivkou zrnitosti. Uvádí se také, že namísto drahých hornin je možné použít i odpadové kyselé železomolybdenové strusky.

Křemičitý modul (poměr $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$) sodného vodního skla má být vyšší než 2,2; obyčejně 2,6 až 3, křemičitý modul draselného vodního skla má být větší než 2,5. Měrná váha vodního skla je okolo 1,4.

Pro zvýšení stálosti betonu ve vodě doporučuje se použít modul sodného vodního skla nejméně 3.

Doporučené míšení potěrů, malt a betonů s pojivem z vodního skla uvádí tabulka 2.

Složka	Spotřeba materiálu v kg/m ³ pro		
	potěr	maltu	beton
Vodní sklo s měrnou vahou 1,4 t/m ³	500	400	300
Fluorokřemičitan sodný (Na ₂ SiF ₆)	60	50	40
Práškové plnivo (zůstatek na síti s 900 oky/cm ² nebyl větší než 0,5%)	1440	600	360
Písek	-	1150	600
Štěrka	-	-	1000
Objemová váha v kg/m ³	2000	2200	2300

Uvedená množství vodního skla mohou být zmenšena v případě velmi pečlivého složení směsi plniva o 10 - 20%, a v případě, kdy není vyžadována zvláštní hutnost betonu až o 30%. Jestliže je fluorokřemičitan sodný přimíšen již do moučky, je možné jeho množství o 10-20% zmenšit díky dobré homogenisaci.

Kyselinovzdorný beton se připravuje tak, že se nejdříve v uzav-

řené míchačce důkladně smíchá fluorokřemičitan sodný s moučkou, potom se přimísí písek a štěrka. Míšení má trvat asi 3 minuty. Potom se přidá vodní sklo a znovu je třeba míchat alespoň 2 minuty. Až na některé maličkosti je zpracování, zhuštění a zkoušení stejné jako cementového betonu. Formy pro beton musí být těsné, aby se zabránilo unikání vodního skla. Krycí vrstva výztuže nemá být menší než 3 cm.

Po uložení a zpracování, které má být co nejrychlejší (protože tuhnutí začíná bezprostředně po smíšení rozkladem vodního skla), beton tuhne 3 - 4 hodiny při 20°C. Zpracování tohoto betonu musí být účinnější než normálního cementového betonu vzhledem k jeho horší zpracovatelnosti i k tomu, že lze pro dobré výsledky použít jen směsi sypkých. Zvětšování obsahu vodního skla k dosažení plastičtější směsi rychle zhoršuje výsledné vlastnosti.

Beton nemá být vystaven působení agresivních kapalin nebo par dříve, než po 10 dnech tvrdnutí při 15-20°C po zpracování. Doporučuje se po této době prohřát ještě beton na dobu 5-10 hodin suchým vzduchem s teplotou 80-100°C. Styku betonu s vodou nebo vzduchem s velkou vlhkostí před touto dobou se má zabránit.

Teplota betonové směsi při výrobě, ukládání, zpracování a tvrdnutí nemá být menší než 10°C.

Kyselinovzdorný beton na bázi vodního skla je vysoce odolný proti téměř všem i silným (koncentrovaným) kyselinám. Kyseliny malé koncentrace jsou pro kyselinovzdorný beton agresivnější než koncentrované. Voda pomalu rozrušuje K-beton za 5-10 let. Neodolává kyselině fluorovodíkové, roztokům solí, zásadám a některým dalším chemikáliím.

Teplotní odolnost K-betonu je velmi dobrá, lze ho použít až do 400°C při použití vodního skla sodného, a až do 700-1000°C při použití vodního skla draselného.

Pro zvýšení odolnosti zředěným kyselinám doporučuje se K-beton po vytvrzení "okyselit", t.j. smočit silným roztokem sírové nebo solné kyseliny.

Hutnost K-betonu je omezena; ani nejlepším zpracováním a výběrem směsi nelze dosáhnout zmenšení pórovitosti pod 10-15%. Proto používá-li se K-beton pro ochranu betonových nebo ocelových konstrukcí (nádrží a pod.), kombinuje se obyčejně s vodonepropustnou a kyselinovzdornou vrstvou z několikavrstvých nátěrů, případně vložek ruberoidu, folií a pod. Povrch cementového betonu je třeba před nanášením vrstvy K-betonu vždy upravit, alespoň fluátováním. Bez takové ochrany agresivní páry, pronikající k podkladu způsobí jeho korozi a dochází k odlupování vrstvy z kyselinovzdorného betonu, nebo ke vzniku trhlin v ní.

Pro zvýšení hutnosti a stálosti ve vodě, doporučuje se ohřev na 700°C, zvýšení silikátového modulu vodního skla, zvětšení množství fluorokřemičitanu sodného až na 18-20% vah.

V některých případech lze zlepšit nepropustnost K-betonu přísadou mletého parafinu, případně parafinové emulze, dobře se osvědčila přísada hydroxydu železa. Také se osvědčilo napouštění povrchu K-betonu roztokem vápenatých rozpustných solí, např. $CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, $Ca(CH_3COO)_2$.

Některé vlastnosti K-betonu jsou uvedeny v další tabulce:

Pevnost v tlaku (po 14 dnech)	140 - 200 kg/cm ²
Pevnost v tlaku (po 14 dnech při zvlášť pečlivém zpracování)	350 kg/cm ²
Pevnost v tlaku (po 14 dnech po prohřevu)	460 kg
Modul pružnosti	60 000 - 220 000 kg/cm ²
Délkové smrštění	0,08 - 0,01%
Koeficient tepelné roztažnosti	0,8 - 1,2 · 10 ⁻⁵
Tepelná vodivost	0,6 - 1,1 kcal/m.hod.

Vodní skla používaná pro K-beton mají vlastnosti uvedené v tabulce 3.

Tabulka 3.

	Vodní sklo sodné		Vodní sklo draselné	
	obyčejné	zahusťené	obyčejné	speciální
Měrná hmota g/cm ³	1,330-1,356	1,408-1,498	1,318	1,408-1,420
Hustota B _e při 20°C	36-38	42-48	35	42-43
Modul SiO ₂ :R ₂ O	3,1-3,3	2,6-2,7	3,2	1,88
Molekulární poměr	3,21-3,41	2,69-2,79	3,46	2,95
Viskozita cP/20°C	40	40-400	50	40-50
Označení tuzemských a zahraničních tmelů	KV20, KV25, SW11, SW20, Kombinal 10 a 20, Jodasta C, Acitmel, HV-15	KVH, KV, HVC-8, SWD, SWDZ, Kombinal D a Z, HVD, vařákové tmely, SM, SM, SMO1, SMCl, Welhaven, Syrabruk	KVD, SWK, Kombinal K, KVK, HVK	HFR, FK, HFR-Z
Při použití v K-betonu:				
doba zpracovatelnosti	10-30 min.	cca 30 min.	cca 40 min.	cca 40 min.
doba tuhnutí	1-2 hod.	2-4 hod.	3-5 hod.	3-5 hod.
poměr míšení (vodní sklo: plnivo)	1:2,5-3	1:2,3-2,5	1:2,5-3	1:2,3-2,8
urychlovač tuhnutí	fluorokřemičitan sodný 3-8% váhy plniva	směs fluorokřemičitanu sodného, draselného a vápenatého 6-8% váhy plniva	fluorokřemičitan draselný 6-7% váhy plniva	formamid (organická kapalná látka 1,5-2% váhy plniva
Přísady:				kyanamid ^{x)} vápenatý nebo olovnatý 0,5-1,1% váhy plniva

x) Kyanamid vápenatý nebo olovnatý ve formě přísady do K-betonu má schopnost v kyselém prostředí bobtnat, takže při vhodném uspořádání konstrukce může do ní vnášet příznivé předpětí značné velikosti. Takové předpětí např. umožní snášet konstrukci i prudké tepelné výkyvy.

Nejdříve se vyrábí tzv. pevné vodní sklo tavením křemene se sodnými nebo draselnými solemi v takových poměrech, aby se dosáhlo požadovaného modulu. Vychladlá tavenina se potom rozpouští ve vodě při zvýšené teplotě a tlaku.

Draselného vodního skla pro K-betony se používá hlavně při namáhání kyselinou sírovou, chromovou, octovou a fosforečnou, neboť je stálejší z důvodů menších krystalických tlaků při krystalizaci soli za případného odstavení zařízení.

2.2 Sirný tmel

I když nejde o druh kyselinovzdorného betonu, nýbrž vyložené o tmel nebo spíše zálivkovou hmotu, věnujeme tomuto materiálu pozornost vzhledem k jeho důležitosti u konstrukcí namáhaných kyselinami zejména oxydačními a fluorovodíkem. Sirný tmel se získá roztavením práškové síry (58-60%) s přísadou kyselinovzdorného plniva (38-40%) a sirného kaučuku (Thiokolu)(1,2%) nebo naftalinu (do 4%) jako plastifikátoru. Jako plnivo mohou být použity různé materiály jako asbest, šamot, saze, křemenný písek atd. Všechny materiály musí být čisté a suché.

Ohřívání prášku se provádí v zakrytých kotlích s ventilačním odvodem na pískovém loži. Ze začátku pomalu (do 2 hod.) dochází k rozpouštění síry. Nejmenší viskozita nastává při 150-160°C a při dalším zvýšení teploty se anomálně zvyšuje. Rozpouštění síry začíná při 92°C a teplota vzplanutí je okolo 260°C. Je proto třeba při práci se sirným tmelem dbát zvýšené opatrnosti, neboť hořící síra je jen těžko hasitelná. Po rozpouštění síry se postupně během hodiny přidává plnivo, nakonec plastifikátor. Celková doba ohřevu při 140-160°C je okolo 5ti hodin. Přestože pro některé výroby ve spojení s jinými materiály např. taveným čedičem je sirný tmel výbornou výplní spár, na domácím trhu se vhodný druh nevyskytuje (kromě neplastifikovaného siroduru s velkou křehkostí, velkým smrštěním a

malou přilnavostí. Sirný tmel lze použít pro teplotu ^{do} 100°C. Neodolává zásadám, sloučeninám chloru, roztokům siřníků, olejům a rozpouštědlům.

2.3. Tavený čedič

Přírodního čediče se užívalo pro jeho dobré vlastnosti ve stavebnictví již dávno. Jeho tvrdost a velká odolnost vůči opotřebení zvláště oděrem a vynikající chemická odolnost volaly po širším upotřebení. Okolnost, že přírodní čedič lze tavit při teplotách běžných ve sklářském průmyslu bylo východiskem k vyřešení celého problému: čedičovými výrobky bylo možno dávat určitý tvar a rozměr.

Připravená čedičová drť se taví v peci při teplotě přibližně 1400°C, a odlévá do předeřtých forem, aby ochlazení taveniny probíhalo pomalu. Rychlým ochlazením se získají amorfni výrobky sklovité struktury se škodlivým vysokým vnitřním pnutím. Výhodnější pro technické použití jsou tepelně zpracované výrobky - rekrystalizované; získává se tavený čedič jemně krystalický. Rekrystalizace a odstranění nežádoucího vnitřního pnutí se dosahuje jednak velmi pomalým ochlazením s delší prodlevou při teplotách okolo 1000°C, ale také přísadami usnadňujícími rekrystalizaci. U nás se vyrábí tavený čedič výborné kvality a v poměrně širokém sortimentu odlišků: trouby, trubní tvarovky, žlaby, mlecí kameny, dlaždice, desky. Nejvhodnější jeho použití je tam, kde se využije současně jeho vysoké odolnosti v obrusu a chemické odolnosti. Odolnost proti kyselinám i zásadám je dobrá i když vcelku se nedá srovnat s odolností kyselinovzdorné kameniny. Odolává však i koncentrované kyselině dusičné a kyselině sírové. Obklady, žlaby a potrubí provedené z taveného čediče s vyspárováním sirným tmelem jsou prakticky stálé. Některé vlastnosti taveného čediče jsou uvedeny v tabulce 4. Pro srovnání jsou v této tabulce uvedeny vlastnosti čediče přírodního.

Tabulka 4.

Vlastnost	materiál staticky litý	materiál dynamicky litý	materiál přírodní
specifická váha t/m ³	2,90	3,00	2,91
pevnost v tlaku kg/cm ²	5.180 ± 30%	6.300 ± 35%	2.000 ± 25%
pevnost v ohybu kg/cm ²	450 ± 25%		200 ± 25%
pevnost v tahu kg/cm ²	250		100
tvrdost podle Mohso	7,5	8,5	6-7
odolnost vůči opotřebení obru- sem ^{x)} cm ³ /cm ²	0,055	0,048	0,127
koefficient tepel- né roztažnosti	50 · 10 ⁻⁷	50 · 10 ⁻⁷	

Odolnost čedičových trub a jejich výrobků vůči obrusu v porov-
nání s výrobky z manganové oceli je 6 - 10 x větší, v porovnání s
litinovými výrobky až 20 x větší. Při hydraulické přepravě materiálů
je obrus trub podstatně menší než při pneumatické přepravě.

Odolnost vůči tepelnému namáhání je dostatečná. Při pozvolném
zahřívání 20-30°C za hod. snese čedičová trouba 400-600°C. Vůči
tepelným nárazům až do 200°C odolávají čedičové výrobky v těch pří-
padech, kdy nejsou současně namáhány mechanicky (u trub vnitřním
přetlakem). Při přetlaku větším než 3 atm. odolnost vůči tepelným
šokům klesá.

x) Odolnost vůči opotřebení obrusem je stanovena tímto zkušebním
postupem: destička o ploše 41x41 mm je obrušována za mokra smír-
kem standardního zrnění na brusné dráze 500 m při zatížení
4,5 kg a stanoven úbytek hmoty na cm².

Československé čedičové trouby vydrží přetlak minimálně 4,5 atm.
Z taveného čediče se vyrábějí dnes běžně čtvercové a obdélníkové
dlaždice o rozměrech podle tabulky 5.

Tabulka 5.

Rozměr (mm)	Tloušťka (mm)	Mezní úchylky (mm) pro roz- měry a tloušťku	Počet kusů na 1 m ²	Průměrná váha kg	
				(m ²)	1 ks
200x200	20	± 2	25	58	2,32
	25			72	2,90
	30			87	3,48
	40			116	4,64
250x250	20	± 2	16	58	3,62
	25			72	4,53
	30			87	5,44
	40			116	7,25
200x100	25	± 2	50	72	1,45
	30			87	1,74
	40			116	2,32
250x125	25	± 2	32	72	2,26
	30			87	2,72
	40			116	3,62

Čedičové potrubí se buď zapouzdřuje do kovových obalů, což je
většinou provedeno v továrně a již s obalem dodáváno nebo se
instaluje bez obalu, do země, do kanálu, na podlahu, podezdívku
a pod. Čedičové potrubí lze také použít jako jádra betonového
potrubí, přičemž obetonování je nejlépe provádět až na místě, po
předchozím dokonalém utěsnění spojů. Nejde-li o přetlak, spojují
se jednotlivé kusy jednoduše cementovou, sirtou nebo kyselinovzdor-
nou maltou, plastbetonovou maltou, případně jiným vhodným tmelem.
Jde-li o tlakové potrubí, je třeba použít pro spoje spojky, např.
tzv. bandážové, přesuvné a pod.

Čedičové trouby se vyrábějí v řadě s vnitřním průměrem od
82,5 do 500 mm, obvykle v délce 500 mm. Podle normy musí mít ma-
teriál odstředivě litych trub tyto vlastnosti:

měrná váha 2,85 - 3 t/m³
pevnost v tlaku min. 2755 kg/cm²
pevnost v tahu min. 106 kg/cm²
pevnost v ohybu min. 233 kg/cm²
tvrdost 802 Hm (mikrotvrdoměr) Zeiss-Hanemann
otěr (koeficient obrusnosti) 0,054 cm³/cm²
specifické teplo 0,2 cal.

Čedičové trubní oblouky jsou vyráběny se silnější stěnou o 5 mm než rovné. Rovněž tak i ostatní tvarovky jsou dodávány v této tloušťce (t.j. 25 mm); jsou to kolena, T-kusy, X-kusy a pod.

Z čediče se také běžně vyrábějí půlkulaté žlaby s vnitřním průměrem 75 - 200 mm, dále kolmé zvýšené žlaby, šikmé zvýšené žlaby, ploché žlaby, bočnicové, rovné žlaby a různé druhy obkládaček a kamenů.

Z uvedeného vyplývá nejčastější možné použití v chemických závodech:

1. potrubí včetně příslušenství pro pneumatickou i hydraulickou dopravu surovin, Vinklerova prachu, koksu atd.,
2. žlaby pro hydraulickou přepravu hmot,
3. potrubí a žlaby pro odpadové kanály, které jsou vystaveny otěru a korozi,
4. obklady stěn nádrží,
5. obklady podlah provozoven,
6. obklady odlučovačů, cyklonů, trychtýřů, atd.,
7. obklady surovinových zásobníků, výsypek a skluzů,
8. pancěře pro kulové a trubnaté mlýny.

2.4. Tepelně isolační materiály s expandovanými plnivými

V posledních letech se zejména v cizině, ale i u nás velmi rozšířilo používání pórovitých, obvykle tzv. expandovaných plniv pro betony i jiné materiály (např. plastbetony).

Jde jednak o hmoty umělé, jednak o hmoty přírodní, případně z odpadu průmyslové výroby.

Umělé hmoty jsou taveniny křemičitanů vápenatých, hlavně však pálené hlíny (promíšené s pilinami nebo s uhelnou krupicí) jako je Bayer-Lindmanova pemza, globulit, keramzit (haydit).

Globulit, jsou duté koule v průměru 30 mm, s dutinou průměru asi 14 mm, lisované strojně z hlinitého (jílovitého) těsta, pálené v otáčivých pecích při teplotě 950°C. Objemová váha množiny tělísek je 0,6 kg/l, měrná váha vypálené hlíny 1,15 t/m³. Vyrobené betony mají pak objemovou váhu 1,6 - 1,8 t/m³. Keramzit se pálí z mekré hlíny přičemž unikající pára a plyny vypalek načechravají. Keramzit má průměrnou objemovou váhu ve volně sypaném stavu 450-500 kg/m³. Zrna keramzitu mají velikost 0-25 mm.

Z přírodních pórovitých látek, které jsou třeba ještě i upravovány pálením (pařením), jsou to např. pemza a jiné horniny sopečného původu (tufy, láva, pepely), dále hořlavé, vypálené lupky, nejčastěji některé břidlice nebo výpalky z jiných hornin, jako zonolit, perlit, expandit.

Některé břidlice (silurské) a lupky prudce pálené do slnutí ztrácejí vrstevnaté složení a štípatelnost, nabývají kolmo k vrstvám 3x - 7x na objemu a jsou lehké, pórovité (nakynuté), takže plovou na vodě. Před pálením v otáčivých nebo tunelových pecích se rozdrtí na drobný štěrk a písek. Nakypření způsobuje pára (vypuzená/vázaná voda) a plyny, které dodávají síru (S₂O₃) a uhlíkatany (CO₂) v surovině, nebo látky zvlášť přidané (vápence). Vypalek se musí rychle ochladit.

Z hornin šupinkovitých slidových se rovněž dobře vyrábí lehká plniva (zonolit). Poněvadž páry slidu mnohokrát (až 35x) nakypřejí, vzniká lehká přísada, z níž lze připravit lehké betony s objemovou vahou pouze 390 kg/m³.

Expandované materiály jsou většinou ve tvaru větších či menších granulí, obvykle kulovitého nebo elipsoidického tvaru.

Všechny tyto materiály mají společný znak: velmi nízkou tepelnou vodivost. Využívají se proto především ve spojení s cementovým nebo jiným pojivem (např. z plastické hmoty) jako výborné tepelné isolační materiály, mající nízkou objemovou váhu a ještě dostatečnou pevnost pro výplňové isolační zdivo. Navíc se může mísit lehké plnivo se šterkopískem a získat tak beton prakticky libovolné pevnosti (v mezích až k normálnímu betonu) se zvýšenou tepelně isolační schopností.

Vodivost betonu s expandovanými plnivými je závislá na jeho objemové váze; v tabulce 6 jsou uvedeny některé hodnoty vodivosti kcal/m.h.°C, též v závislosti na vlivu vlhkosti (a tím druhu konstrukce).

Tabulka 6.

Druh betonu	Objemová váha kg/m ³	Suchý beton	Beton v příčkách	Beton ve vnějších zdech	Beton ve vlhkých zdech
beton obyčejný strásaný	2200	0,70	1,00	1,20	1,50
beton s lehkými plnivými	600	0,09	0,13	0,15	0,18
	800	0,12	0,19	0,22	0,26
	1000	0,16	0,24	0,28	0,33
	1200	0,21	0,32	0,37	0,44
	1400	0,26	0,40	0,47	0,56

Pro srovnání jsou ještě v tabulce 7 uvedeny hodnoty tepelné vodivosti některých jiných materiálů.

Tabulka 7.

Materiál	Tepelná vodivost
cihelne zdivo suché	0,35 - 0,45
cihelne zdivo mokré	až 0,72
zdivo z dutých cihel	0,20 - 0,48
sklo	0,36 - 0,72
papír	0,034
železo	50,0
voda při 0°C	0,48
vzduch	0,0205

Jak ovlivňuje tepelná vodivost šterku (plniva) tepelnou vodivost betonu ukazuje další tabulka 8. Ukazuje se, že lze přibližně posuzovat vodivost betonu podle vodivosti použitých složek. Vodivost cementového betonu je až 2,2x větší než vodivost pevných složek.

Tabulka 8.

Druh plniva	Šterku λ_s	Betonu λ_b	λ_b/λ_s
oblázek	0,32	0,70	2,18
struska	0,15	0,25-0,30	2,00
láva, pemza	0,10-0,12	0,25	2,20
pěnová struska	0,07	0,15	2,14
pálená hlína (keramzit)	0,06	0,12	2,00

S objemovou vahou g v kg/m³ je přibližně tepelná vodivost dána rovnicí

$$\lambda = \frac{g}{2000} - 0,15$$

Protože všechny tyto betony jsou vysoce pórovité, s otevřenými kanály, může vlhkost i agresivní páry proniknout snadno celým materiálem. Jednotlivá zrna lehkých plniv jsou obalena vrstvou pojiva a měřítkem chemické odolnosti takového betonu zůstává pouze chemická odolnost cementové malty. Je samozřejmé, že tyto betony nelze vystavovat mrazu. Snaha po zachování výborných tepelně-isolačních vlastností těchto materiálů i při použití v chemickém průmyslu, kde se většinou střetává se silně agresivním prostředím vedla k nahrazení cementového pojiva pojivem chemicky odolným, pojivem z plastických hmot. Z expandovaných plniv je pro tento účel nejvhodnější keramzit, jehož povrch je poměrně hladký a specifická plocha je 4 - 15 cm²/g. Pro výrobu keramzitového plastbetonu se dá použít řada pryskyřic, nejvhodnější jsou však pryskyřice fenolformaldehydové, výhodné je využít pryskyřic vyrobených z odpadů různých chemických výroben obsahujících fenoly. Bylo zjištěno, že dostatečná tloušťka povlaku plniva pojivem při použití fenolformaldehydových, furanových nebo karbamidových pryskyřic je 0,15 - 0,20 mm. Spotřeba pryskyřice se může dále snížit přísadou jemně mleté minerální moučky. Výhodou je kromě toho, že moučka udržuje pryskyřice na povrchu zrn, zejména v začátečním období zpracování materiálu. Jako přísada se osvědčil popílek, černé uhlí, křemičitý písek, keramzit, jisté druhy hlín, to vše jemně mleté. Nejlépe se osvědčil u všech druhů pryskyřic mletý písek při váhovém poměru pryskyřice ku mleté přísadě od 2:1 do 1:3. U fenolových pryskyřic s malou viskositou lze použít 100-200% přísady, při použití karbamidových pryskyřic se množství přísady pohybuje mezi 40-50%, při použití furanových pryskyřic (konkrétně furfurylalkoholu) může být množství přísady až 300%.

Technologie výroby keramzitplastbetonu je podobná technologii výroby betonu. Keramzitový štěrku však musí být suchý s maximální vlhkostí 2-3%. Podle druhu pryskyřice a druhu a charakteru tužidla

postupuje se při míšení: pryskyřice se nejdříve smíchá s jemným plnivem (moučkou), do které je již předem přidáno a homogenně rozptýleno tužidlo, je-li v práškovém stavu. Tato směs se pak přidá ke keramzitovému štěrku do míchačky. Používá-li se ještě urychlovač tvrdnutí, přimísí se až nakonec. Je-li tužidlo v kapalném stavu promíchá se nejdříve s pryskyřicí, pak se přidá moučka a nakonec keramzit. Míšení má probíhat nejméně 4-5 min., aby se zajistilo, že všechna keramzitová zrna budou úplně obalena pryskyřicí, což je vlastně účelem. Úplné obalení zrn keramzitu pojivem opravňuje usuzovat, že chemická odolnost keramzitplastbetonu ve styku s agresivními parami je stejná jako chemická odolnost použitého pojiva. Pro některé pryskyřice (fenolformaldehydové, močovinoformaldehydové-karbamidové) je vytvrzení zapotřebí zajistit zvýšenou teplotou 120-160°C. U furfurylalkoholových pryskyřic stačí jen krátkodobé zvýšení teploty na 40°C.

Pevnost v tlaku keramzitplastbetonu závisí především na pevnosti keramzitu; pohybuje se od 5-25 kg/cm². Použije-li se alespoň 40 kg pryskyřice na m³ betonu, obalí se všechna zrna a porušení nastává vždy v zrnech keramzitu. Proto větší množství pryskyřice nezpůsobuje úměrný růst pevnosti a postrádá tak smyslu. Je to dáno především tím, že pevnost pryskyřice je obvykle větší než pevnost keramzitu. Objemová váha keramzitplastbetonu nezávisí příliš na objemové váze pojiva; poměr mezi objemovými vahami keramzitplastbetonu a keramzitového štěrku je 1,13. Tepelná vodivost tohoto materiálu se ještě zmenšila proti cementovému keramzitbetonu - pohybuje se okolo 0,08 kcal/m.h.°C.

Nízká objemová váha keramzitplastbetonu, poměrně vysoké ukazatele pevnosti a chemická odolnost (zvláště vůči agresivním parám) předurčují použití tohoto materiálu pro pevné isolační

vrstvy ve vrstvených konstrukcích panelů, pro tepelně izolační a zároveň chemicky odolné příčky i vodorovné tepelné izolace pod nosnou (pojízdnou) vrstvou. S menší příměsí písku (nebo štěrkopísku) může být použit keramzitplastbeton i pro nosné stěnové bloky u nízkých budov.

2.5. Pórovité tepelně izolační materiály

Zvláštní skupinou tepelně-izolačních stavebních materiálů jsou hmoty nakypřené, pórovité, s uzavřenými kulovými póry, t.zv. plynobeton; nakypření se dosahuje různými přísadami, např. do betonu se nejčastěji používá práškového hliníku, ale také zinku, karbidu vápníku nebo hliníku, vápníku, hořčíku.

Objem takových betonů se vývinem plynů, vznikajících po smíšení s cementem a smočení vodou (za 10-20 min) zvětšuje o 25 - 300%. Množství kovů nepřevyšuje 1/4% váhy cementu (obvykle se přidává je 1/10%) a pevné přísady se používají jen jemné, do 3 mm (asi 60-80% do 1 mm) a nejvýše do 30% váhy směsi. Pevné přísady jsou křemenný písek, mleté hlíny, kaolin, k získání větší pórovitosti mleté lávy, tufy, popílky.

Nejčastěji se pro nakypření používá hliníku, který beton kypří nejvíce a nejochotněji vyvíjí plyny (vodík). Také jsou oblíbeny směsi zinku a hliníku. Jiné prášky reagují příliš pozdě, za 1 až 1,5 hod., nebo musí být zahřívány, aby působily včas. K povzbuzení vývoje plynů se může přidávat chlorid vápenatý (k zinku), jímž se urychluje tuhnutí a způsobí i potřebné zahřátí. Někdy se zároveň přidává ještě vápno (0,25%). Podmínkou zdaru je přidání kovů v nejjemnější prášku, dokonale s cementem promíšeného, a ukončení vývoje plynů do počátku tuhnutí betonu. Cementu je nejméně 400 kg/m³, vody je zapotřebí poměrně více vzhledem k prudkému zahřívání, které pochod provází. Tvrdnutí probíhá obvykle v parní lázni (autoklávu), která úspěšně zmenšuje

je smršťování, při tlaku 8 - 10 atm, není to však podmínkou tvrdnutí. Vytvořené dutiny zabírají až 70% objemu, objemová váha betonu je 400 až 670 kg/m³ (jako dřevě) a plave na vodě. Pevnost je 5-15 kg/cm², v parní lázni a s křemenným pískem 25-50 kg/cm². Jednotlivé dutinky (třeba až do velikosti hrášku) jsou uzavřeny, nespojují se, proto je beton i trvale nepropustný (nenasáklivý) a vzdoruje povětrnosti. Izoluje nejen proti teplu, ale i proti hluku a elektřině. Vzdoruje ohni, dá se řezat pilou a dovoluje zatloukat hřebíky. Je-li s křemenným pískem nazývá se obvykle Siporex; použije-li se pro výrobu pojiva směsi živých břidlic (Švédsko) a vápence, získá se ^{po} přidání hliníkového prášku Itong.

Jako kovové prášky působí přípravek chlorovaného vápna s peroxidem vodíku H₂O₂; kypřící plyn je kyslík. Pevnost tohoto betonu se zvýší přidáním popílku.

Jednoduše se dá vyrobit pórovitý beton přidáním nehasného vápna k cementu v množství 1/4% až 2%. Teplem, které se hasením vybavuje, vypuzují se páry, nakypřující beton. Nakypřující přísadou může také být vápno s práškovým hliníkem (Calsilit).

Dnes již méně se vyrábí i betony pěnové, kde póry (dutinky) od 0,1 do 1, v průřezu jsou vytvořeny přidáním hustě pěnlivé nebo i napřed (tlušením, šleháním) zpěněné kapaliny. Je třeba je vytvrzovat v autoklávech při min. 8 atm. tlaku. Jejich váha je 250 - 1200 kg/m³, obvykle se používá pouze cementu bez plniva. Zpěňující přísady jsou organické látky: bílkoviny, odpady kožářské výroby, výroby rostlinné, odpady terpentýnových pryskyřic, přípravky ze sulfitových louhů. Pěna se připravuje např. šleháním směsi 73,7% vody, 23% rozšívkové zeminy, 1% dřevitých vláken, 1% kazeinu, 0,4% sody (bezvodé), 0,1% vápna, 0,7% amidonu. Po 10 min. šlehání se objem zvětšuje o více než 70%; při vyšších teplotách než 8°C je nabývání malé, a je třeba ještě

přídavek 0,2% pryskyřičnanu sodného, jímž se dosáhne i při teplotě 32°C zvětšení objemu o 93%, přídavkem 1% až o 110%. Pěnu, která způsobuje, že beton je pórovitý, dávají také přípravky užívané jinak pro zpracovatelnost, jestliže se míchání prodlouží nebo provádí se ve zvlášť zařízených strojích (např. Tricosal).

Součinitel tepelné vodivosti některých pěnových a plynových betonů uvádí další tabulka 9.

Tabulka 9.

Hodnota	Pěnobeton				Plynobeton				
	400	550	750	1000	400	500	600	700	800
objemová váha kg/m ³	400	550	750	1000	400	500	600	700	800
krycholná pevnost kg/cm ²	12	27	43	90	15	30	40	50	65
součinitel tepelné vo- divosti kcal/m.h.°C	0,100	0,120	0,155	0,220	0,084	0,100	0,118	0,132	0,150

Všechny betony pórovité, ať již s pojivem cementovým nebo vápenatým, mají pro chemický průmysl společnou velkou nevýhodu: jsou neodolné agresivnímu působení kapalin i par všeho druhu. Jistá pomoc je úprava povrchu různými nátěry živičnými nebo z plastických hmot, lepší řešení tepelně isolačních materiálů však přináší teprve použití lehčených (pěnových) plastických hmot, které si ponechávají vynikající tepelně isolační schopnost (obvykle podstatně lepší než tradiční hmoty) a současně jsou podle druhu použité pryskyřice odolné i silným agresivním činidlům. Obecně je třeba se vystríhat jen styku pěnoplastů (jak jsou tyto hmoty nazývány) s takovými činidly, které způsobují krystalizaci solí v jejich pórech. Blíže o pěnoplastech bude pojednáno později.

3. Plastické hmoty

3.1. Úvod

V posledních letech jsme svědky pronikání nových materiálů - plastických hmot do všech odvětví lidského podnikání. Můžeme pozorovat, že od jednotlivých aplikací se k masovému používání plastických hmot přechází v celém světě, zejména pak v průmyslově vyspělých zemích. I ve stavebnictví proniká tento směr stále progresivněji.

V poslední době se pracuje na využití plastických hmot nejenom jako některých detailů, většinou vnitřních vybavení staveb, ale jako vhodné, efektivní a ekonomické náhrady tradičních stavebních materiálů základních.

Usilovně se zejména sledují možnosti ovlivnění vlastností tradičních materiálů přísadami plastických hmot, využití kombinací plastických hmot pro lehká zastřešení a pod. V posledních několika letech, zejména pod tlakem nutnosti stálého zvyšování produktivity práce a zprůmyslnění, přechází se pak ke snaze nalézt a používat takové nové materiály, které v konkrétních podmínkách prostředí jsou schopny zastávat jak nosnou - konstruktivní, tak i isolační funkci.

Je pochopitelné, že první podmínka aplikace plastických hmot v takovém průmyslovém odvětví, jako je stavebnictví, vyžaduje použití těch druhů, které je možno vyrábět poměrně jednoduše a pro něž je dostatečná zásoba výchozích surovin. Množství, vyžadované stavebnictvím při zavedení i jen specializovaných výrob, je srovnatelné nebo převyšuje množství, potřebné pro všechny ostatní průmysl dohromady. Má-li ještě použitá plastická hmota plnit další již zmíněné funkce - vynikat vysokou pevností a zároveň vynikající stálostí různým druhům agresivního prostředí, je výběr z dosud známých pryskyřic, případně z pryskyřic se známým výrobním způsobem v průmyslovém smyslu, poměrně omezený.

Ve stavebnictví jsou dnes již dosti běžně používány plastické hmoty pro izolace tradičních materiálů (natěry, folie), pro transport kapalin i plynů (potrubí PVC) a pro interiéry jsou používány v různých tvarech a druzích. Rovněž skelné lamináty, používané jako střešní krytina nebo lehké příčky zaujaly dnes již pevné místo v sortimentu stavebních materiálů.

S použitím makromolekulárních hmot v inženýrských stavbách, zejména jako konstrukčního materiálu pro nové prvky se však dosud váhá. Makromolekulární hmoty jsou obvykle aplikovány v tenkých vrstvách (folie, filmy, natěry, tmely) a splňují pouze izolační funkci, nebo jako pomocné prvky dočasného charakteru (nafukovací bednění). Zatím jen v několika případech byly využity mm-hmoty v provozu jinou formou a je na místě konstatovat, že tyto pokusy byly vesměs úspěšné.

Z úspěšných aplikací skelných laminátů zaslouží jmenovat např. zastřešení tržiště na Fresue (Francie), kopule observatoře v Leydenu (Holansko), zastřešení bruselského pavilonu v Praze, výstavba musea v Anvers (Francie) a pod. Velmi zajímavá a nadějná je nová výrobní technologie laminátů stříkáním pryskyřice spolu se sekánnými skelnými vlákny, zejména ve spojení s pneumatickým bedněním, zkoušená ve Francii a Itálii. Tím je dána možnost zakrytí prostorů konstrukcemi libovolných tvarů nad složitými půdorysy.

Důvody proč nedošlo zatím k rozšíření v tomto oboru je především nedostatek znalostí materiálu a dále dosud poměrně vysoká cena.

Hospodárnost použití nových materiálů nebo výrobků byla již v minulosti často podmíněna rozvojem velkovýroby, čehož klasickým případem je hliník. Rovněž v oboru mm-hmot bude cena klesat úměrně ke zvyšování celkového objemu produkce, nehledě již k pravděpodobnému nalezení efektivnějších technologických procesů výroby.

Na plastické hmoty se již dávno nedíváme jako na náhražku za jiné deficitní materiály, i když tento předsudek stále ještě trvá

v myslích laiků a často je obtížné ho překonat. Plastické hmoty mají dnes již svoje vydobytá práva a jsou rovnocennými partnery kovů, dřeva, betonu a jiných tradičních materiálů. "Dlouhodobý výhled" použití plastických hmot pro konstrukční účely je právě proto dlouhodobý, poněvadž stavebnictví, vlastně pracovníci konstrukčních útvarů tohoto odvětví jsou nepružní a konzervativní. Na druhé straně zůstává faktem, že stavaři by již dnes používali řady výrobků z plastických hmot, kdyby věděli o tom, že tyto výrobky existují a jsou dostupné. V průběhu velmi krátkého období přistích několika let je možno dále vyvinout a na trh uvést mnohem více aplikací plastických hmot. Plastické hmoty představují dnes samostatnou třídu či skupinu konstrukčních materiálů a použití plastických hmot pro konstrukční účely roste závratnou rychlostí. Vždyť již dnes ve vyspělých kapitalistických zemích se spotřebovává celá třetina vyrobených plastických hmot ve stavebním průmyslu (NSR, USA).

Lze očekávat, že v budoucnu tvar správně navržených konstrukčních prvků bude funkcí jejich použití spíše než druhu materiálů, z nichž jsou zhotoveny, neboť tato možnost je dána přizpůsobitelností plastických hmot. Přizpůsobitelnost plastických hmot jakýmkoli požadavkům umožní dosáhnout dosud nedostupných cílů. Na druhé straně je třeba ovšem vidět i potíže, které se vyskytují při použití plastických hmot. Plastické hmoty jsou nové rozmanité materiály, známé teprve asi 50 let, z čehož teprve v posledních dvou desetiletích dochází k podrobnějšímu výzkumu použití a skutečným aplikacím. Technická veřejnost je s nimi velmi málo obeznámena. Vztah mezi zkušebními podmínkami a praktickým využíváním je často nejasný. Plastické hmoty jsou materiály náchylné ke stárnutí; chybí dlouhodobé zkoušky a dlouhodobé zkušenosti z provedených staveb.

Jaké jsou tedy problémy nebo skutečnosti, které by mohly zabránit anebo pozdržet uskutečnění těchto potenciálních cílů? Riskuje-li se možnost zkreslení zjednodušením, pak základní překážky či problé-

my, které by mohly ovlivnit tento směr vývoje jsou pouze dvě:

1. Nedostatečné vědomosti a zkušenosti techniků a inženýrů o plastických hmotách, jejich možnosti, vlastnostech a dostupnosti.
2. Zmatená terminologie čili obtíže v dohovoření, t.j. že technici a konstruktéři nebudou rozumět řeči plastikářů a tak, jak tomu bylo již v minulosti, nebudou plastikáři chápat stanovisko a požadavky techniků a konstruktérů.

Úmyslně ponechávám stranou otázku dostupnosti plastických hmot, neboť předpokládám, že se příznivě upraví ihned, jakmile bude platnost předchozích bodů eliminována a tím bude vyvozován příslušný stav stavebního na chemický průmysl.

Pro konstrukční účely je možno předpokládat v užití mm-hmot pod funkčního působení zejména jako

- a) pojiva tenkostěnných vrstvených soustav
- b) pojiva všech nebo některých částí silnostěnných vrstvených soustav
- c) prostředků k ovlivnění některých vlastností tradičních materiálů příměsí
- d) pojiva heterogenních konstrukčních materiálů.

Jinak řečeno využití mm-hmot přichází v úvahu zejména pro

- a) lamináty a pláště nafukovacích konstrukcí
- b) sandwiche
- c) příměsí k tradičním pojivům a materiálům (např. polymerobeton)
- d) pojivo konstrukčních materiálů (např. plastbeton).

Kromě toho je možné použít mm-hmoty jako plnivo nebo jako výztužný materiál (namísto oceli) bez ohledu na to, jakého druhu je pojivo.

Bude na prospěch, probereme-li i jen stručně a zjednodušeně hlavní skutečnosti o stavbě a vzniku plastických hmot.

3.2. Základní pojmy a definice

Makromolekulární hmoty (dále mm-hmoty), jinak též nazývané plastické hmoty ve většině případů jsou mnohosložkové směsi. Kromě mm-kostry (pojiva) obsahují různá plniva, plastifikátory, stabilizátory, barviva a další speciální přísady. MM-hmoty jsou vytvořeny z obrovských molekul lineární, rozvětvené nebo prostorové (síťové) struktury. Ve většině případů tyto molekuly jsou složeny z mnohokrát se opakujících elementárních článků (skupin atomů), spojených chemickou vazbou. Takové hmoty se nazývají polymery a výchozí nízkomolekulární hmoty monomery. Ke sloučení výchozích hmot dojde polymerační nebo polykondenzační reakcí.

Molekulární váha polymerů činí desetitisíce až statisíce, někdy i miliony jednotek, zatím co u nízkomolekulárních hmot se pohybuje v desítkách nebo stovkách jednotek (voda 18, etylalkohol 46, styrol 104).

Protože polymery nepředstavují chemicky individuální sloučeninu, nýbrž jsou směsí molekul s různým množstvím opakujících se elementárních článků (směsí polymerhomologů), má jejich molekulární váha charakter střední statistické veličiny.

V závislosti od rozměrů molekul polymeru se mění jeho fyzikální vlastnosti. Např. polyetylen (který se obdrží polymerací monomeru etylenu), sestávající asi z 20 článků CH_2 , je kapalina. Zvětšením délky molekul na 1500 - 2000 článků dostane se pevná pružná plastická hmota, ze které se vyrábí např. folie. Dalším zvětšením délky (na 5-6 tisíc článků) dosáhne se podstatného zvětšení tvrdosti polyetyleny, ze kterého je možno vyrábět např. trubky, desky a pod.

Existují však některé mm-hmoty, které obvykle nejsou řazeny k polymerům, přestože mají značnou molekulární váhu (např. bílkovinné molekuly), neboť jejich řetězce sestávají z neopakujících se skupin atomů.

O polymeru, jehož základní řetězce makromolekuly tvoří stejné atomy, mluvíme jako o homogenním polymeru.

my, které by mohly ovlivnit tento směr vývoje jsou pouze dvě:

1. Nedostatečné vědomosti a zkušenosti techniků a inženýrů o plastických hmotách, jejich možnosti, vlastnostech a dostupnosti.
2. Zmatená terminologie čili obtíže v dohovoření, t.j. že technici a konstruktéři nebudou rozumět řeči plastikářů a tak, jak tomu bylo již v minulosti, nebudou plastikáři chápat stanovisko a požadavky techniků a konstruktérů.

Úmyslně ponechávám stranou otázku dostupnosti plastických hmot, neboť předpokládám, že se příznivě upraví ihned, jakmile bude platnost předchozích bodů eliminována a tím bude vyvozován příslušný stav stavebního na chemický průmysl.

Pro konstrukční účely je možno předpokládat v užití mm-hmot podobného působení zejména jako

- a) pojiva tenkostěnných vrstvených soustav
- b) pojiva všech nebo některých částí silnostěnných vrstvených soustav
- c) prostředků k ovlivnění některých vlastností tradičních materiálů příměsí
- d) pojiva heterogenních konstrukčních materiálů.

Jinak řečeno využití mm-hmot přichází v úvahu zejména pro

- a) lamináty a pláště nafukovacích konstrukcí
- b) sandwiche
- c) příměsí k tradičním pojivům a materiálům (např. polymerobeton)
- d) pojivo konstrukčních materiálů (např. plastbeton).

Kromě toho je možné použít mm-hmoty jako plnivo nebo jako výztužný materiál (namísto oceli) bez ohledu na to, jakého druhu je pojivo.

Bude na prospěch, probereme-li i jen stručně a zjednodušeně hlavní skutečnosti o stavbě a vzniku plastických hmot.

3.2. Základní pojmy a definice

Makromolekulární hmoty (dále mm-hmoty), jinak též nazývané plastické hmoty ve většině případů jsou mnohosložkové směsi. Kromě mm-kostry (pojiva) obsahují různá plniva, plastifikátory, stabilizátory, barviva a další speciální přísady. MM-hmoty jsou vytvořeny z obrovských molekul lineární, rozvětvené nebo prostorové (síťové) struktury. Ve většině případů tyto molekuly jsou složeny z mnohokrát se opakujících elementárních článků (skupin atomů), spojených chemickou vazbou. Takové hmoty se nazývají polymery a výchozí nízkomolekulární hmoty monomery. Ke sloučení výchozích hmot dojde polymerační nebo polykondenzační reakcí.

Molekulární váha polymerů činí desetitisíce až statisíce, někdy i miliony jednotek, zatím co u nízkomolekulárních hmot se pohybuje v desítkách nebo stovkách jednotek (voda 18, etylalkohol 46, styrol 104).

Protože polymery nepředstavují chemicky individuální sloučeninu, nýbrž jsou směsí molekul s různým množstvím opakujících se elementárních článků (směsí polymerhomologů), má jejich molekulární váha charakter střední statistické veličiny.

V závislosti od rozměrů molekul polymeru se mění jeho fyzikální vlastnosti. Např. polyetylen (který se obdrží polymerací monomeru etylenu), sestávající asi z 20 článků CH_2 , je kapalina. Zvětšením délky molekul na 1500 - 2000 článků dostane se pevná pružná plastická hmota, ze které se vyrábí např. folie. Dalším zvětšením délky (na 5-6 tisíc článků) dosáhne se podstatného zvětšení tvrdosti polyetyleny, ze kterého je možno vyrábět např. trubky, desky a pod.

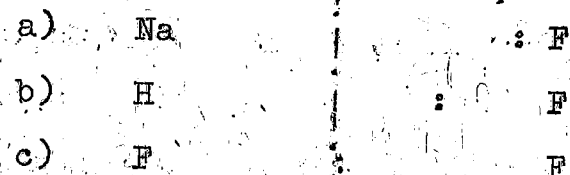
Existují však některé mm-hmoty, které obvykle nejsou řazeny k polymerům, přestože mají značnou molekulární váhu (např. bílkovinné molekuly), neboť jejich řetězce sestávají z neopakujících se skupin atomů.

O polymeru, jehož základní řetězce makromolekuly tvoří stejné monomery, mluvíme jako o homogenním polymeru.

elektrický pár (nebo páry), společný oběma atomům. Tím se kolem jádra atomu vytvoří stabilní vnější elektronový obal.^{x)} Samotná kovalenční vazba vzniká tehdy, když oba atomy přísluší k prvkům blízkých vlastností nebo k jednomu prvku, např. F / F. Kovalenční vazby jsou převažující v organické chemii.

3.2.1.3. Semipolární vazba

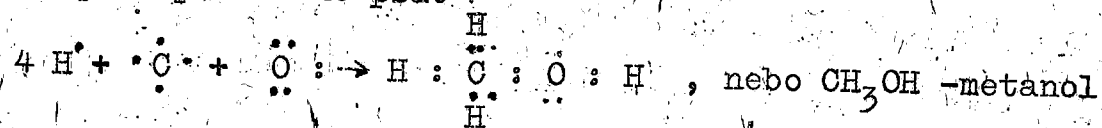
Semipolární vazba je mezilehlá iontové a kovalenční vazbě. V semipolární vazbě je pár elektronů více nebo méně jednostranně přitažen jedním z atomů, avšak ne natolik, aby se vytvořily samostatné ionty, např. H a F. Přitom dráhy obou elektronů zůstávají svázané s oběma jádry. Často obě poslední vazby kovalenční a semipolární se nazývají kovalenční. Obecně však iontová a kovalenční vazba mohou být považovány za mezí případ semipolární vazby (obr.2).



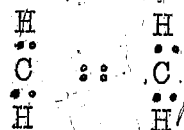
Obr. 2.

Schema stavby různých vazeb a) iontová, b) semipolární, c) kovalenční.

^{x)} Elektrony vnějšího obalu se označují, např. tečkami kolem symbolu prvku - tak je např. možno psát



Dvojná vazba (např. $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ - etylen) může být naznačena



Trojná vazba (acetylen) $\text{H} : \text{C} : : : \text{C} : \text{H}$ a podobně.

1.4. Kovová vazba

U kovů, kde je počet valenčních elektronů malý pro vytvoření plně obsazených elektronových obalů u všech atomů, vzniká kovová vazba. Kladně nabitě atomy jsou jakoby obaleny elektronovým "plynem", který se může volně pohybovat. To se vysvětluje např. vysoká elektrická vodivost kovů.

2.1.5. Charakteristiky valenčních vazeb

Hlavními charakteristikami valenční vazby jsou její energie a polárnost. Obě tyto veličiny závisí od délky vazby, t.j. od vzdálenosti mezi jádry vázaných atomů.

Energií vazby je myšlena práce, kterou je nutno vynaložit k roztržení vazby; tato veličina tedy charakterizuje pevnost vazby. Obvykle se vztahuje tato veličina ke grammolekule, t.j. k $6,02 \times 10^{23}$ vazbám a vyjadřuje se v kilokaloriích.

Např. energie vazby sloučeniny H - H je 104 kkal/mol, energie vazby C - C pro alifatickou sloučeninu je 71 kkal/mol a pro aromatickou sloučeninu je 96 kkal/mol.

Polárnost charakterizuje vazbu ve smyslu elektrické symetrie. Molekuly iontové, kovalenční a semipolární vazby jsou znázorněny na obr. 3.

Obr. 3.

Typy molekul:

- a) iontová
- b) semipolární
- c) nepolární (kovalenční)

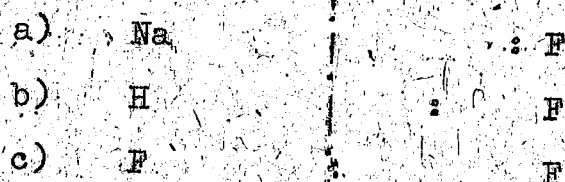
Z hlediska polárnosti jsou možné tyto typy molekul:

- 1) nepolární molekula (NP)
- 2) kladně polární molekula (KP)
- 3) záporně polární molekula (ZP)
- 4) záporně-kladná polární molekula (ZKP).

elektrický pár (nebo páry), společný oběma atomům. Tím se kolem jádra atomu vytvoří stabilní vnější elektronový obal. x) Samotná kovalenční vazba vzniká tehdy, když oba atomy přísluší k prvkům blízkých vlastností nebo k jednomu prvku, např. F / F. Kovalenční vazby jsou převažující v organické chemii.

3.2.1.3. Semipolární vazba

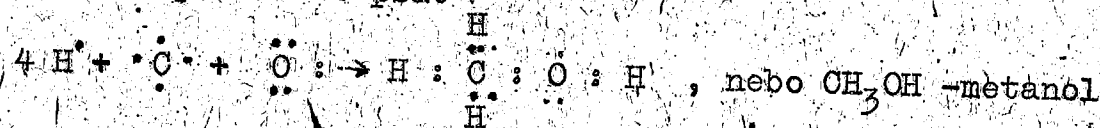
Semipolární vazba je mezilehlá iontové a kovalenční vazbě. V semipolární vazbě je pár elektronů více nebo méně jednostranně přitažen jedním z atomů, avšak ne natolik, aby se vytvořily samostatné ionty, např. H a F. Přitom dráhy obou elektronů zůstávají svázané s oběma jádry. Často obě poslední vazby kovalenční a semipolární se nazývají kovalenční. Obecně však iontová a kovalenční vazba mohou být považovány za mezní případ semipolární vazby (obr.2).



Obr. 2.

Schema stavby různých vazeb a) iontová, b) semipolární, c) kovalenční

x) Elektrony vnějšího obalu se označují tečkami kolem symbolu prvků - tak je např. možno psát



Dvojná vazba (např. CH₂ = CH₂ - etylen) může být naznačena



Trojná vazba (acetylen) H : C : : : C : H a podobně.

2.1.4. Kovová vazba

U kovů, kde je počet valenčních elektronů malý pro vytvoření končených elektronových obalů u všech atomů, vzniká kovová vazba. Kladně nabitě atomy jsou jakoby obaleny elektronovým "plynem", který se může volně pohybovat. Tím se vysvětluje např. vysoká elektrická vodivost kovů.

2.1.5. Charakteristiky valenčních vazeb

Hlavními charakteristikami valenční vazby jsou její energie a polarizace. Obě tyto veličiny závisí od délky vazby, t.j. od vzdálenosti mezi jádry vázaných atomů.

Energie vazby je myšlena práce, kterou je nutno vynaložit k roztržení vazby; tato veličina tedy charakterizuje pevnost vazby. Obvykle se vztahuje tato veličina ke grammolekule, t.j. k 6,02 x 10²³ vazbám a vyjadřuje se v kilokaloriích.

Např. energie vazby sloučeniny H - H je 104 kkal/mol, energie vazby C - C pro alifatickou sloučeninu je 71 kkal/mol a pro aromatickou sloučeninu je 96 kkal/mol.

Polárnost charakterizuje vazbu ve smyslu elektrické symetrie. Molekuly iontové, kovalenční a semipolární vazby jsou znázorněny na obr. 3.

Obr. 3.

Typy molekul:

- a) iontová
- b) semipolární
- c) nepolární (kovalenční)

Z hlediska polárnosti jsou možné tyto typy molekul:

-) nepolární molekula (NP)
-) kladně polární molekula (KP)
-) záporně polární molekula (ZP)
-) záporně-kladná polární molekula (ZKP).

V polární molekule jsou elektrické náboje nerovnoměrně rozloženy. Každá molekula má kladné (jádro) i záporné (elektrony) částice. Jestliže elektrické těžiště všech kladných částic souhlasí s těžištěm všech záporných částic, pak molekula je nepolární. Jestliže nedojde k této shodě, obdrží se polární molekula, v případě velké vzdálenosti těžiště - molekula iontového typu.

Polárnost molekuly je možné popsat použitím pojmu dipolu. Dipol je systém dvou stejně velkých elektrických nábojů opačného znaménka v jisté vzájemné vzdálenosti. Dipolovým momentem μ je nazýván součin velikostí elementárního elektrického náboje e a vzdálenosti mezi náboji h (obr. 4)

$$\mu = h \cdot e$$

Obr. 4.

Vzdálenost mezi elektrickými náboji v molekule.

Velikost dipolového momentu molekuly se určuje v elektrostatických jednotkách na cm (náboj elektronu má $4,8 \cdot 10^{-10}$ elektrostatických jednotek a vzdálenost mezi jádry atomů je $1 - 4 \text{ \AA}$), a měří se v jednotkách debye (D). Jeden debye je dipolový moment dvou elektrických nábojů $e \cdot 10^{-10}$ elektrostatických jednotek ve vzdálenosti 10^{-8} , t.j. 10^{-18} elektrostatických jednotek na cm.

Polaritu molekul je však třeba rozlišovat od polarity jednotlivých vazeb. Pro dvouatomové molekuly se shodují; v mnohoatomových molekulách závisí polarita molekul od polarity jednotlivých vazeb a od jejich poměrného rozložení v molekule. Dipolový moment je veličina jistého směru a skládání dipolových momentů se provádí podle pravidla skládání vektorů (obr. 5). Výslednice závisí na symetrii rozložení vazeb v molekule; může dojít k částečné nebo i úplné kompensaci dipolových momentů jednotlivých vazeb.

Obr. 5.

Vektorový součet dipolových momentů

Molekuly postavené symetricky mají dipolový moment roven nule, i když jejich jednotlivé vazby jsou polární. (Např. molekula CO_2 má dipolový moment rovný nule, stejně jako CS_2 , C_2 , H_6 , C_6H_6 a pod. Molekula H_2O má $1,34 \text{ D}$, molekula NH_3 má $1,50 \text{ D}$ a pod.).

Existence dipolu u molekul může způsobit vytvoření asociace molekul (mezidipolových vazeb) tím, že kladně nabitě konce jedné molekul jsou přitahovány záporně nabitými konci druhých molekul. Také se může vytvořit iontodipolová vazba mezi ionty a dipolovými molekulami (např. při působení molekul rozpustidla s ionty, kdy se vytváří solvátní nebo hydrátový obal).

3.2.2. Mezimolekulární vazby

Vzájemné přitahování (a také odpuzování) molekul, v našem případě působící mezi řetězci molekul polymerů, je způsobena mezimolekulárními (sekundárními) silami - tzv. silami Van der Waalsovými.

Tyto síly jsou hmotového původu. Projevují se pouze v tom případě, když vzdálenost mezi molekulami nepřevyšuje 5 \AA . Jsou mnohem slabší než primární síly hlavních valencí (působících podél lineárních molekul polymerů) a tím jsou též určovány vlastnosti polymerů. Pro srovnání jsou v tab. 1. uvedeny energie některých primárních a sekundárních vazeb.

Mezimolekulární sekundární síly jsou v zásadě trojího druhu:

- a) síly orientované vazby (dipolové síly)
- b) síly indukční vazby (debyovské síly)
- c) síly dispersní vazby

3.2.2.1. Síly orientované vazby (dipolové síly)

Dipolové síly jsou elektrostatické. Vznikají mezi polárními molekulami vlivem elektrostatického vzájemného působení jednotlivých

Tabulka 10. - Energie primérních a sekundérních vazeb.

Primérní vazby			Sekundérní vazby		
Charakter vazby	Délka vazby (vzdálenost mezi atomy) Å	Energie vazby kkal/mol	Charakter vazby	Délka vazby (vzdálenost mezi molekulami) Å	Energie vazby (kohese) kkal/mol
C - H	1,08 - 1,12	87 - 94	-CH ₂	3 - 4	1,78
C - C (alifatická)	1,52 - 1,55	59 - 70	-CH ₂	3,4	0,99
C - C (aromatická)	1,39 - 1,42	90 - 100	-OH	3 - 4	7,25
C = O	1,30 - 1,34	100 - 125	=CO	3,4	4,27
C = O	1,13 - 1,28	142 - 166			
C ≡ N	1,17	150 - 185			
O - H	0,96 - 1,02	101 - 110			

jejich částí s náboji opačného znaménka. Energie vzájemného působení dvou dipolů je přímo úměrná součinu jejich dipolových momentů (μ_1, μ_2) a nepřímo úměrná třetí mocnině vzdálenosti mezi nimi r ,

$$E_{or} = - \frac{\mu_1 \cdot \mu_2}{r^3}$$

Při vysokých teplotách tepelný pohyb zmenšuje možnost určité orientace molekul. V tom případě možno psát

$$E_{or} = - \frac{2}{3} \cdot \frac{\mu_1 \cdot \mu_2}{r^3} \cdot \frac{1}{kt}$$

kde k = redukční součinitel, t = teplota,

3.2.2.2. Síly indukční vazby (debyovské síly)

Tyto síly vznikají v tom případě, kdy nepolární molekuly se polarisují vlivem sousedních polárních molekul nebo iontů. Takové indukované dipoly se vzájemně přitahují. Energie indukční vazby nezávisí od teploty a je úměrná dipolovému momentu a velikosti polarizability:

$$E_{ind} = - \frac{2 \alpha \mu^2}{r^6}$$

kde α = stupeň polarizability.

Tyto síly je možno uvažovat jako polární. Jestliže polárnost molekul je malá, je možno je zanedbat.

3.2.2.3. Síly dispersní vazby

Při oběhu elektronů v molekulách vznikají střídavě dipoly, které působí mezi sebou. Jsou to síly nepolárního původu, nejvíce rozšířené u organických sloučenin, kde na jejich účet připadá 80 - 100% celkové velikosti vazeb mezi molekulami.

V jednoduchém případě, při vzájemném působení dvou stejných kulových molekul, energie dispersní vazby může být vyjádřena vzorcem

$$E_{disp} = - \frac{3 \alpha^2}{4 r^6} J_0$$

kde J_0 = veličina, závisající od potenciálu ionisace.

Pro srovnání jsou v tab. 2 uvedeny hodnoty různých složek energie vazby molekul.

Tabulka 11. - Energie vazeb molekul

Molekula	Dipolový moment (debye)	Energie vazby molekul (kcal/mol)		
		orientované	indukční	dispersní
CO	0,12	0,0001	0,002	2,09
HC	1,03	0,79	0,24	4,02
H ₂ O	1,34	8,69	0,46	2,15
NH ₃	1,50	3,18	0,37	3,52

Z uvedeného vyplývá, že u polárních hmot působí silnější mezimolekulární síly; proto je u nich teplota odpařování i varu vyšší ve srovnání s nepolárními hmotami.

3.2.2.4. Vodíková vazba

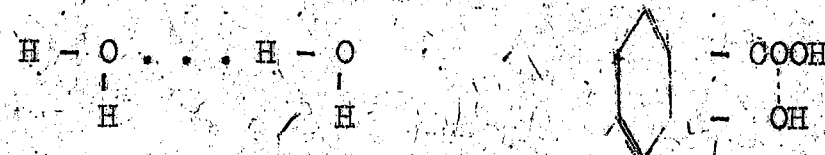
Asociace molekul se objasní v některých případech vodíkovou vazbou. Vodíková vazba je také v podstatě elektrostatickou (orientovanou). Představuje jakoby druhou valenci vodíku vzhledem k elektricky záporným atomům, jestliže základní jeho valence je také vázána k silně zápornému atomu. Vodíková vazba tak vzniká jako důsledek při tažení kovalenčně vázaného protonu volnými elektrony atomů druhé molekuly. Vznik takových vazeb je umožněn velkými náboji jak u vodíku (+0,33), tak i u kyslíku (-0,66).

Energie vodíkové vazby je poměrně malá (510 kcal/mol), ale je vždy větší, než uvažovaná velikost mezimolekulární síly (tab.3),

Tabulka 12. Vlastnosti vodíkových vazeb

Vazba	Délka vazby Å	Energie asociace kcal/mol
F-H...F	2,25 - 2,51	6,2
O-H...O	2,30 - 2,50	5,9 - 10,2
N-H...N	2,65	-
C-H...C	-	6,1 - 7,8
C-H...O	-	4,1 - 6,0

Vodíková vazba může ale vznikat jak mezi jednotlivými molekulami, tak i mezi atomy v jedné molekule:



Vodíkovými vazbami jsou dány fyzikální vlastnosti mnohých polárních polymerů, jako nylonu (polyamidové pryskyřice), celulosy a pod. Např. polyamidy, polymočoviny a polyuretany, schopné vytvářet mnoho vodíkových můstků (jejich molekuly obsahují karbonylové a amidové skupiny) mají poměrně vysoké teploty tání.

3.2.3. Složení makromolekulárních hmot

Molekuly organických polymerů jsou sloučeniny, u kterých základní vazbou prvků v hlavním valenčním řetězci je vazba - dusík - uhlík - kyslík; v bočních řetězcích mohou být rozličné skupiny prvků. Vyjimku tvoří siloksany, jejichž základními prvky je křemík - kyslík. Kromě toho jsou známy základní organické polymery, v jejichž řetězci v řadě s uhlíkem stojí hliník, bor.

Uhlík je charakterisován těmito hodnotami:

- pořadové číslo v Mendělejevově tabulce - 6,
- atomová váha - 12, poloměr atomu při prosté vazbě - 0,77 Å, při dvojně vazbě - 0,69 Å, při trojně vazbě - 0,61 Å, počet valenčních místků - 4

Při nejjednodušší stavbě molekul polymerů, např. v homologické řadě parafinových uhlovodíků, má řetězec tvar zubovité čáry (obr.6)

Obr. 6.

Řetězová molekula jednoduchého polymeru.

Jak již bylo zmíněno, je pro polymery charakteristická anisotropie fyzikálně-mechanických vlastností: vysoká pevnost ve směru dlouhých řetězcových molekul a značně menší pevnost vazeb mezi řetězci. Svazek řetězcových lineárních molekul vyniká vysokou ohebností, neboť každá molekula při průměru několika angströmů má délku několika tisíc angströmů.

Pro roztržení každé valenční vazby uhlíkových atomů se potřebuje průměrně 80 kkal v přepočtu na gram-molekulu. Řetězce metylenových skupin CH₂ (jako základních prvků molekul polymerů s uhlíkovým řetězcem) se přitahují silou, nepřevyšující 0,5 kkal. Proto lze u malých molekul nepoměrně snadněji odtrhnout jednu molekulu od druhé (např. v procesu tání) než roztrhnout molekulu.

Ve větších molekulách polymerů však tato zákonitost neplatí. Pro roztržení molekul na dvě části potřebuje se, stejně jako dříve, 80 kkal, ale na vzájemné přemístění molekul je třeba přemoci vazbu mezi jednotlivými skupinami CH₂, které v každé molekule polymerů se vyskytují v tisících. Proto součtová vazba mezi molekulami je dána stovkami i tisíci kilokalorií. V takovém případě je snadnější roztrhnout molekuly, než odtrhnout molekuly jednu od druhé. Soustava-molekul získává tak vlastnosti pevného materiálu.

3.2.4. Vytváření a stavba makromolekulárních hmot

Mm-hmoty mohou být obdrženy:

- a) chemickou syntézou z jednodušších hmot v důsledku polymerační nebo polykondensační reakce,
- b) chemickou modifikací přírodních polymerů, např. chemickým zpracováním

váním přírodní celulosy nebo celulosy z dřevoviny (ethery celulosy).

Syntetické polymery se získají:

- a) řetězovou polymerací^{x)}
- b) polykondensací
- c) stupňovitou polymerací.

K polymeraci se využívají katalysátory a iniciátory, k jejímu urychlení aktivátory a urychlovače. Podle toho se rozlišuje katalytická a iniciovaná (radikálová) polymerisace. Katalytická (iontová) polymerace se vyvolá působením katalysátorů, které vytvářejí s monomerm velmi nestálou sloučeninu, rozpadající se v průběhu reakce a tím je způsoben růst polymeru. Obvykle katalysátory se nestanou součástí polymeru. Iniciovaná (radikálová) polymerace je charakterisována vznikem radikálů, t.j. monomerů v aktivovaném stavu, ve kterých existuje atom uhlíku s volnou valencí. Tvoření volných radikálů

se dosáhne při rozpadu speciálních látek- iniciátorů, které po skončení procesu zůstanou částí polymeru. Jako iniciátorů se používá různých peroxydů a hydroxydů.

Polymoraci je možno způsobit také fyzikálními faktory, např. působením světla (fotopolymerace), elektrického proudu, radioaktivního záření (záření α a γ paprsky), tepla (tepelná polymerace), tlaku.

Molekuly polymerů mohou mít tvar dlouhých lineárních řetězců (obr.7a) nebo rozvětvených řetězců s bočními výhonky (obr.7b). Rozvětvené a lineární polymery mají odlišné fyzikálně-mechanické vlastnosti. Čím jsou delší boční řetězce, tím jsou slabší mezimo-

^{x)} Obecnou teorii řetězových reakcí vypracoval N.N.Semjonov

lekulární síly a obdrženy polymer je měkčí a pružnější. Avšak při velmi velkých bočních řetězcích tuhost polymerů znovu vzrůstá a největší, když vznikne zesíťovaná.

Obr. 7.

Uspořádání molekul polymerů a) lineární řetězce, b) rozvětvené řetězce, c) prostorové zesíťování.

Připojením řetězců jiných molekul k základnímu polymeru s cílem dosáhnout jistého účinku se vytvoří kopolymery.

Rozmíšením polymeru s později polymerujícími články jiného monomeru vznikne tzv. roubovaný kopolymer (obr.8b). Kromě čistě chemických způsobů vytvoření kopolymerů se nyní používají také tzv. mechanicko-chemické způsoby. Dlouhé řetězce polymerů se rozruší mechanickými procesy (rozemílání, roztírání a pod.); získané radikály mají vysokou reakční schopnost a znovu se spojují mezi sebou, ale již v jiných sestavách. Tím se obdrží t.zv. blok - kopolymery, ve kterých jednotlivé části - bloky jednoho polymeru se spojují s bloky druhého polymeru (obr.8c).

Obr. 8.

Stavba molekul v polymerech a) obyčejného lineárního polymeru b) kopolymeru nepravidelné stavby c) blok kopolymeru d) rozvětveného kopolymeru.

3.2.5. Amorfni a krystalické polymery

Ve fyzice tuhé fáze se za skutečně tuhé považují hmoty s určitým vnitřním uspořádáním, t.j. krystalické hmoty. Krystalická hmota je soustava nejtěsněji složených a uspořádaných částic, mající minimální potenciální energii a tedy minimální tepelný obsah.

Tuhé látky amorfni struktury jsou považovány za kapaliny o velké viskozitě, nebo jinak za přechlazené kapaliny. V pevných amorfni hmotách se (na rozdíl od krystalických hmot) skutečně zachov

struktura, odpovídající struktuře kapaliny a takový stav látky se také nazývá sklovitým. Amorfni hmoty mají tepelný obsah větší než krystalické; tento rozdíl je způsoben uvolněním vnitřního tepla při krystalisaci. Proto samovolný přechod krystalické hmoty v amorfni na základě druhého principu termodynamiky je nemožný.

Přechod z tekuté do tuhé fáze je podmíněn oslabením tepelného pohybu molekul, který působí proti silám mezimolekulárních vazeb. V určitém okamžiku se vyrovná vzájemná působení silových polí molekul účinku rozrušujícího tepelného pohybu a v tekutině se začnou objevovat orientované částice (zárodky krystalisace), které rychle rostou.

Na přechod tekuté hmoty v tuhou sklovitou hmotu (přejdeme-li krystalisaci) je možno z ^{et}energického hlediska pohlížet jako na ustálení stavu s vyšším termodynamickým potenciálem.

Z tohoto důvodu je možno považovat amorfni hmoty za přechlazené kapaliny, t.j. za soustavy s přebytkem vnitřní energie. Takové soustavy jsou nerovnovážné a mohou samovolně přejít do rovnovážnějšího krystalického stavu.

V zásadě jsou všechny látky schopné přechlazení a tím k přechodu do tuhé amorfniho stavu. Pro řadu látek však rozdíl specifických termodynamických potenciálů obou fází je natolik velký, že přechlazený stav je velmi nestálý (např. u kovů).

Na druhé straně u jiných látek je krystalisační potenciál velmi nízký a mají proto velký sklon k přechlazení. Takové látky je těžké, někdy dokonce nemožné získat v krystalickém stavu (např. glycerin).

Přechod do amorfniho stavu není však dán pouze termodynamickými, ale i molekulárně kinetickými faktory. Tak souběžně s krystalisací dochází k asociaci, t.j. vytváření pevných molekulárních komplexů působením mezimolekulárních sil. Čím vyšší je polárnost a čím složitější je struktura molekul, tím více nahrazuje krystalisaci

agregace (seskupení, shluk) a tím pravděpodobněji dojde k přechodu kapalně látky do sklovitého amorfního stavu. Potom mohou být amorfní hmoty též úplně stabilní. Proto se amorfni sklovitý stav mnohých látek považuje za samostatné, agregátové skupenství. Organické hmoty se stabilní amorfne-sklovitou strukturou se pak nazývají pryskyřicemi.

Zahřívá-li se krystalická látka, mění se skokem při teplotě tání všechny její vlastnosti. To odpovídá změně struktury látky - fázové změně z tuhého do kapalného skupenství. Amorfni látky jsou naproti tomu charakterisovány postupnou změnou vlastností, aniž by došlo k fázové změně. Nápadnou nelineární změnu vlastností je možno pozorovat jen v jistém rozmezí teplot. Sledujeme-li např. závislost kterékoliv vlastnosti (např. objemu) poměrně nízkomolekulární amorfni látky (např. kapaliny) na teplotě (obr.9), získáme funkci F představující dvě přímkou spojené křivkou. Teplota, při níž funkce přechází z přímkové do křivkové části (bod A) se nazývá teplotou zeskelnění. Je to vlastně počátek přechodu vazkoplastické látky v pevnou, amorfni. Teplota, při níž funkce přechází z křivkové zno-va do přímkové části (bod B) je teplota tání a charakterisuje přechod pevné látky v kapalinu. Interval $\langle AB \rangle$, v němž se mění vlastnosti látky, se nazývá intervalem plastičnosti. Změna vlastností je patrná z průběhu první a druhé derivace podle teploty: první derivace $\frac{dF}{dt}$ ukazuje změnu součinitele tepelného roztažení, druhá derivace $\frac{d^2F}{dt^2}$ popisuje zrychlení změny vlastností, dosahující maxima v bodě C (bod obratu).

Jako každá hmota mohou i polymery existovat ve třech stavech: kapalném, krystalickém a amorfne-sklovitém (neuvažujeme-li plynné skupenství). Avšak polymery se mohou vyskytovat navíc ještě ve vazkoelastickém stavu (interval mezi body A a B na obr. 9), při kterém jsou schopny vratného přetváření. Jednotlivé články řetězcových molekul se přitom vlivem tepelného pohybu přemísťují stejně

jako v kapalinách, (přičemž ale samy molekuly vcelku si podržují předchozí polohu).

Protože však všechny části molekul jsou svázány mezi sebou, dojde ke vzniku vnitřních napětí a tečení částí molekul je vratné. Kromě toho tato napětí omezují přemístění částí řetězců a brání vazkému tečení, což odpovídá stavu pevné hmoty. Vazkoelastický stav je tak možno považovat za mezilehlý sklovitému a vazkoplastickému stavu.

Obr. 9.

Závislost vlastností polymerů na teplotě.

Amorfni polymery mohou tedy být ve třech stavech: sklovitém, vazkoelastickém a vazkoplastickém. Závislost těchto stavů na teplotě je naznačena na obr.10. Při nízkých teplotách je amorfni polymer ve sklovitém stavu (I) a jeho přetváření je nepatrné. Při zvyšování teploty polymer přechází do vazkoelastického stavu (II). V této oblasti se přetvoření až do bodu tání mění jen málo. V blízkosti bodu tání dochází k prudkému zvětšení přetvoření v důsledku nevratného vazkého tečení a k přechodu do vazkoplastického stavu (III). Jestliže ale jsou řetězcové makromolekuly velmi pevně svázány mezi sebou nebo tvoří prostorovou síť, pak vazkoplastický stav nemusí vzniknout až do teploty rozložení hmoty.

Vazkoelastický stav přichází tedy v úvahu zejména u termoplastů.^{x)}

Obr. 10.

Změna stavu amorfniho polymeru: I - sklovitý stav, II - vazkoelastický stav, III - vazkoplastický stav.

Některé části lineárních molekul mohou získávat orientovanou

^{x)} Přísady nízkomolekulárních příměsí do polymeru značně ovlivňují hraniční stavevé teploty (body A, B).

stavbu, připomínající stavbu krystalů. Takové krystalické formy se nazývají krystalicity (zrna krystalické struktury). Krystalisace je možno pozorovat zejména u lineárních polymerů nebo u polymerů majících velmi slabou síťovou strukturu.

Mm-hmoty s rozvětvenou síťovou strukturou krystalisují zřídka a málo. Krystalisace je ztěžována (i u lineárních polymerů) velkou délkou řetězců a vzájemným jejich propletením nebo spojením. Proto krystalisuje pouze část polymerů, obvykle nepřevyšující 50% a je v řídkých případech dojde ke krystalisaci do 70. - 90% polymerů. Tím je délka krystalitů značně menší než délky řetězců molekul (délka řetězce mm-hmot dosahuje $10-100 \cdot 10^3 \text{ \AA}$, zatímco délka krystalitů v polymerech nepřevyšuje několik set \AA). Po délce řetězce polymeru se může vytvořit i několik částí orientované struktury krystalitu. Propletené řetězce polymerů mohou tak vytvořit na poměrně malých částech orientované oblasti krystalitů, ve kterých se hvězdicovitě uspořádají svazky řetězců (obr.11).

Obr. 11.

Struktura polymerů: a) amorfni, b) s krystalickými částmi, c) orientovaná.

Vytvořením krystalitů dojde k těsnému spojení částí řetězových molekul a tím ke zmenšení jejich ohebnosti, a k zvětšení tuhosti hmoty (vzrůstu modulu pružnosti).

Schopnost polymerů ke krystalisaci i rychlost procesu závisí kromě rozvětvení nebo spojení řetězců i na ohebnosti molekul. Ohebnost molekul je nezbytná proto, aby se umožnil jejich přechod z orientované do neuspořádané části. Stupeň krystalisace závisí také od stereometrie molekul, t. j. od prostorového rozložení stereoatomů nebo jejich skupin. Tyto skupiny mohou být rozloženy nepravidelně; pak se dostane amorfni polymer nepravidelné ataktické stavby. Stereometrické skupiny mohou být dále rozmístěny v určitém

pořádku; pak se obdrží stereoregulární polymer krystalické stavby isotaktický (všechny stereometrické skupiny rozloženy po jedné straně roviny základního řetězce) nebo sindiotaktický (střídání rozložení skupin vzhledem k rovině základního řetězce).

Krystalické polymery mají některé zvláštní fyzikálně-mechanické vlastnosti. Pracovní diagram krystalického polymeru se popisuje funkcí, sestávající ze tří velmi odlišných částí (obr. 12). V první části (I) je přetvoření úměrné působící síle. Deformace vzorku je vratná. Po dosažení jisté velikosti napětí přichází náhlý zlom křivky (II); v této části zůstává síla prakticky konstantní a přetvoření rychle roste. Přitom se objevuje na vzorku krček, který se postupně rozšíří na celou pracující část vzorku, ale neporuší se v jednom místě (jako při porušení kovů). Podle některých autorů v části II probíhá rekrystalisace polymeru. Neuspořádaně rozložené krystaly se porušují a tvoří se nové, orientované ve směru roztahování. Přetvoření vzorku v části II je nevratné a velikost napětí (přepočtená na původní plochu vzorku) se nazývá napětí rekrystalisace. Samotný proces nevratného roztahování se nazývá studenou tažností nebo studeným tečením.

Napětí rekrystalisace závisí od druhu polymeru, od stupně krystalisace a od teploty, při které probíhá zatěžování. Čím vyšší je stupeň krystalisace, tím vyšší je u téhož polymeru napětí rekrystalisace. Jakmile nevratné přetvoření dosáhne jistého maxima, síla počne znovu růst a funkce přechází do části III. V této části vzrůst přetvoření je téměř úměrný působící síle a přetvoření je téměř vratné.

Ke stanovení krystalisace polymerů je nejlepší metoda difrakce roentgenových paprsků, založená na určení poměrných intenzit difrakčních maxim, odpovídajících krystalické a amorfni oblasti polymerů. Roentgenografické vyšetřování ukazuje, že krystalinita

není vlastností pouze určitých druhů polymerů.

Krystalické útvary mohou vzniknout v menším nebo větším množství u různých polymerů a proto dělení polymerických hmot na amorfni a krystalické je sotva správné.

Obr. 12.

Pracovní diagram krystalického polymeru (v tahu)

Jiným způsobem studia struktury polymerů je infračervená spektroskopie, kterou je možno určit i stupeň krystalisace látky.

3.3. Nejdůležitější vlastnosti, přednosti a nedostatky mm-hmot

Mm-hmoty mají řadu cenných fyzikálně-mechanických a chemických vlastností, které předurčují jejich použití v národním hospodářství. Jsou to zejména:

a) Malá specifická váha

Specifická váha mm-hmot se pohybuje v mezích 1,0 - 1,8 g/cm³, v průměru 1,4g/cm³, t.zn., že je asi pětkrát menší než specifická váha kovů a téměř dvakrát menší než váha duralaluminia.

Existují ale také plastické hmoty s velmi nízkou objemovou vahou (spodní mez dosahuje 0,01 t/m³, nazývané pěnoplasty a poroplasty.

b) Mechanické vlastnosti

Mm-hmoty mají dobré mechanické vlastnosti. Podle druhu polymeru a plniva může být získána celá rozmanitá řada hmot od materiálů tuhých a tvrdých až k ohebným, vysoce pružným.

Řada plastických hmot převyšuje svými mechanickými vlastnostmi např. litinu a bronz. Zejména poměr pevnosti k váze je velmi výhodný. Použijeme-li tzv. váhové pevnosti η , t.j. poměr mezni pevnosti ke specifické váze, pak pro vysokohodnotnou

ocel je

$$\eta = \frac{12000}{7,8} = 1600 \text{ kg}$$

a pro skelný laminát

$$\eta = \frac{3000}{1,8} = 1650 \text{ kg}$$

což znamená, že při stejné váze odpovídá konstrukce z plastické hmoty konstrukci kovové.

Také poměr pevnosti v tahu k pevnosti v tlaku je zejména ve srovnání se stavebními konstrukčními hmotami typu betonu velice výhodný, několikanásobně vyšší.

c) Vysoká antikorozní odolnost

Mm-hmoty jako dielektrika nepodléhají elektrochemické korozi a jsou velmi odolné k působení různých chemických prostředí.

Některé mm-hmoty jsou odolné slabším kyselinám a zásadám, jiné i koncentrovaným. Jsou proto mnohdy nenahraditelné jako ochranné antikorozní materiály.

d) Tepelně izolační vlastnosti

Většinou všechny mm-hmoty špatně vodí teplo; jejich součinitel tepelné vodivosti λ se pohybuje v mezích 0,3 - 0,4 kcal/m. hod. °C. Pěnoplasty a poroplasty mají ještě podstatně nižší (v průměru desetkrát) tepelnou vodivost, t.j. $\lambda = 0,06 - 0,03$ kcal/m. hod. °C a používají se proto jako neobyčejně kvalitní tepelně izolační materiály.

e) Dielektrické vlastnosti

Mm-hmoty jsou výtečná dielektrika vzhledem ke střídavému i stejnosměrnému proudu. Jejich použití je rozšířené ve spojovací technice, televizi atd.

V poslední době byly též získány polymery, mající polovodičové a magnetické vlastnosti.

není vlastností pouze určitých druhů polymerů.

Krystalické útvary mohou vzniknout v menším nebo větším stupni u různých polymerů a proto dělení polymerických hmot na amorfni a krystalické je sotva správné.

Obr. 12.

Pracovní diagram krystalického polymeru (v tahu)

Jiným způsobem studia struktury polymerů je infračervená spektroskopie, kterou je možno určit i stupeň krystalisace látky.

3.3. Nejdůležitější vlastnosti, přednosti a nedostatky mm-hmot

Mm-hmoty mají řadu cenných fyzikálně-mechanických a chemických vlastností, které předurčují jejich použití v národním hospodářství. Jsou to zejména:

a) Malá specifická váha

Specifická váha mm-hmot se pohybuje v mezích 1,0 - 1,8 g/cm³ v průměru 1,4g/cm³, t.zn., že je asi pětikrát menší než specifická váha kovů a téměř dvakrát menší než váha duralaluminia.

Existují ale také plastické hmoty s velmi nízkou objemovou vahou (spodní mez dosahuje 0,01 t/m³, nazývané pěnoplasty a poroplasty.

b) Mechanické vlastnosti

Mm-hmoty mají dobré mechanické vlastnosti. Podle druhu polymeru a plniva může být získána celá rozmanitá řada hmot od materiálů tuhých a tvrdých až k ohebným, vysoce pružným.

Řada plastických hmot převyšuje svými mechanickými vlastnostmi např. litinu a bronz. Zejména poměr pevnosti k váze je velmi výhodný. Použijeme-li tzv. váhové pevnosti η , t.j. poměr mezní pevnosti ke specifické váze, pak pro vysokohodnotnou

ocel

cel je

$$\eta = \frac{12000}{7,8} = 1600 \text{ kg}$$

pro skelný laminát

$$\eta = \frac{3000}{1,8} = 1650 \text{ kg}$$

což znamená, že při stejné váze odpovídá konstrukce z plastické hmoty konstrukci kovové.

Také poměr pevnosti v tahu k pevnosti v tlaku je zejména ve srovnání se stavebními konstrukčními hmotami typu betonu velice výhodný, několikanásobně vyšší.

c) Vysoká antikoroční odolnost

Mm-hmoty jako dielektrika nepodléhají elektrochemické korozi a jsou velmi odolné k působení různých chemických prostředí.

Některé mm-hmoty jsou odolné slabším kyselinám a zásadám, jiné i koncentrovaným. Jsou proto mnohdy nenahraditelné jako ochranné antikoroční materiály.

d) Tepelně izolační vlastnosti

Většinou všechny mm-hmoty špatně vodí teplo; jejich součinitel tepelné vodivosti λ se pohybuje v mezích 0,3 - 0,4 kcal/m. hod. °C. Pěnoplasty a poroplasty mají ještě podstatně nižší (v průměru desetkrát) tepelnou vodivost, t.j. $\lambda = 0,06 - 0,03$ kcal/m. hod. °C a používají se proto jako neobyčejně kvalitní tepelně izolační materiály.

e) Dielektrické vlastnosti

Mm-hmoty jsou výtečná dielektrika vzhledem ke střídavému i stejnosměrnému proudu. Jejich použití je rozšířené ve spojovací technice, televizi atd.

V poslední době byly též získány polymery, mající polovodičové a magnetické vlastnosti.

f) Adhesní vlastnosti

Z mm-hmot byla zhotovena lepidla pro kovy, dřevo a jiné materiály tvrdnoucí při normální nebo zvýšené teplotě. Zvláště cenná vlastnost některých těchto lepidel je vysoká adheze ke kovům. Např. tažený spoj z epoxydové pryskyřice vykazuje pevnost 300 - 400 kg/cm².

g) Antifrikční vlastnosti

Mnohé mm-hmoty vynikají vysokými antifrikčními vlastnostmi a jsou plnohodnotnou náhradou antifrikčních slitin, přičemž jako mazací tekutinu je možno použít vodu; některé mm-hmoty mohou pracovat i bez mazání. Odolnost k obrusu při vysokých zatíženích několikrát převyšuje odolnost antifrikčních slitin. Na druhé straně některé mm-hmoty mají za sucha velké tření (brzdové obložení).

h) Barvení

Mm-hmoty je možno obvykle barvit do hmoty. Pokud použita barviva jsou stálá, zachovávají si mm-hmoty stálou barvu i po opotřebování. Z mm-hmot mohou být zhotoveny i průsvitné a průhledné materiály, které propouštějí paprsky světla v širokém vlnovém rozmezí, např. i ultrafialovou část spektra.

i) Zpracování

Mm-hmoty je možno vyrábět různými způsoby, bez odpadů a ve velmi náročných tvarech. Nejobvyklejší způsoby zpracování jsou: lití, lisování, lití pod tlakem, tváření při vysokém tlaku nebo vakuu, ale u některých materiálů i zpracování beztlaké a za normální teploty do formy. Opracování mm-hmot je obvykle snadné.

j) Rozličnost druhů

Důležitou výhodou mm-hmot je, že je možné je vyrobit v mnoha druzích s neobyčejně rozličnými fyzikálními vlastnostmi.

Tvrdé, monolitické, pružné a ohebné, kaučukovité, pórovité, polotekuté atd.

k) Spojování

Velkou skupinu mm-hmot je možno spojovat svařováním horkým vzduchem nebo vysokofrekvenčním proudem. Jiné mm-hmoty je možno většinou dobře spojovat lepením obvykle materiálem podobným materiálu základnímu.

Na druhé straně mají zatím mm-hmoty některé nedostatky, které vylučují jejich universální použití:

a) Teplotná odolnost

Jako všechny materiály organického původu mají mm-hmoty poměrně malou teplotnou odolnost. Použitelná pracovní teplota většiny termoplastů nepřevyšuje 100-120°C. Úpravou složení molekul je však možno dosáhnout podstatného zvýšení této teploty. U termo-
setů je teplotná hranice vyšší, 200-400°C. Krátkodobě je možno zatěžovat mm-hmoty daleko více. Byly již sestrojeny mm-hmoty, které mohou být krátkodobě zahřáty až na 2700°C; přitom se poruší pouze vrchní vrstva, která pak v důsledku své malé tepelné vodivosti chrání vnitřní vrstvy.

b) Nasákavost a objemová stálost

Některé mm-hmoty pohlcují vodu, bobtnají a spolu s tím zhoršují své fyzikální a mechanické vlastnosti.

c) Dlouhodobá stálost

Mm-hmoty jsou citlivé k dlouhodobým a střídavým zatížením; je proto nezbytné při výpočtu konstrukcí takto zatížených počítat s větší bezpečností, než je zvykem u jiných materiálů.

Některé mm-hmoty křehnou při nízké teplotě, některé v důsledku přirozeného stárnutí.

Při souhrnném hodnocení lze říci, že kladné stránky mm-hmot převyšují stránky záporné. Je pouze nezbytné používat mm-hmoty

na pravém místě, nesnažit se o pouhou náhradu tradičních hmot bez tvořivého přístupu zejména z funkcionálního hlediska a vyhnout se neuváženým aplikacím.

3.4. Zkoušení mm-hmot

Při zkoušení mm-hmot je třeba mít na zřeteli některé odlišnosti v jejich chování při zatížení proti hmotám klasickým a uvědomit si jejich příčinu.

3.4.1. Pevnost

Pevnost mm-hmot, stejně jako hmot klasických, je určována pevností v tahu jako jedinou definovanou veličinou.

Skutečná pevnost při porušení nízkomolekulární krystalické látky (např. kovů) je o několik řádů nižší než teoretická pevnost vypočtená z energie krystalické sítě. Příčinou toho jsou mikroskopické trhliny (nebo dislokace) v materiálu, v jejichž okolí vznikají koncentrace napětí, a postupné uvolňování vazeb v těchto místech.

V mm-hmotách je nutno očekávat analogické jevy. Dále vzhledem k rozdílnosti vazeb podélně a napříč makromolekul bude rozdělení napětí v materiálu nerovnoměrné. Rozdělí se tím rovnoměrněji, čím menší je pohyblivost molekulárních řetězců, t.j. čím větší jsou mezimolekulární síly. Z toho plyne, že u mm-hmoty ve sklovitém tvaru, kdy možnost pohybu řetězových molekul je omezena, je pevnost materiálu větší, než nachází-li se v amorfním (nádpružném) stavu. Uspořádáním struktury dosáhne se dále současného působení všech svazků řetězových molekul.

Např. porovnání pevností dvou vzorků kaučuku (obr.13) potvrdilo, že orientovaný krystalický vzorek (A) má pevnost 6x větší, než stejný vzorek (B), ale amorfní, neorientovaný.

Obr. 13.

Porovnání deformačních křivek krystalického (A) a amorfního (B) polymeru.

Protože k orientaci řetězových molekul dochází i při mechanickém namáhání, může být takovou změnou struktury eliminován vliv mikroskopických trhlin. Jestliže rychlost orientace převyšuje rychlost vzrůstu trhlin, může být růst trhlin zastaven. Jestliže naopak rychlost orientace je malá, pak se mm-hmota poruší. V takových případech, např. při rychlém mechanickém působení (úderu), zdá se mm-hmota křehká, ač při pomalém působení síly je dostatečně tvárná. Vysokou odolnost rázovým zatížením podmiňuje tedy vysoká rychlost zpevnění orientací mm-hmoty.

Pevnost mm-hmoty je dále závislá na délce řetězce, ^{nebo} což je totéž, na střední molekulové váze. Tato závislost je kvalitativně stejná pro všechny polymery jedné polymerhomologické řady. Polymery s velmi nízkou molekulovou vahou jsou mechanicky nepevné. S růstem molekulové váhy se až do jisté meze pevnost polymerů zvětšuje; nad touto mezí vzrůst molekulové váhy již pevnost neovlivňuje.

Mm-hmota s nízkou molekulovou vahou se porušuje hlavně vzájemným posunem molekul (obr. 14a), zatím co při vysoké molekulové váze se většinou porušuje roztržením primárních valencí řetězce (obr.14b). Např. u řetězce z opakujících se článků CH₂ je

Obr. 14.

Schema porušení molekul makromolekulárních hmot

- a) posunutí řetězových molekul
- b) přetržení řetězových molekul

pro přetržení molekul zapotřebí 80 kcal/mol, pro jejich posunutí však jen asi 0,5 kcal na každý článek. U polymeru s krátkými řetězci slabé celkové mezimolekulární síly umožňují posunutí molekul, u polymerů s dlouhými řetězci je v důsledku velkého množství skupin CH₂ součet mezimolekulárních sil větší než pevnost molekul a dojde dříve k přetržení řetězců.

Chování materiálu při dlouhodobém zatížení popisuje (kromě průběhu přetvoření) trvalá (dlouhodobá) pevnost. U mm-hmot je značně nižší než krátkodobá epvnost, jak ukazuje např. obr. 15.

Obr. 15.

Statická dlouhodobá pevnost plastických hmot.

Většina autorů se shoduje v konstatování, že průběh trvalé pevnosti v čase je podle křivky A; jiní však uvádějí též průběh podle křivky B. Rozdíly plynou patrně z chyb měření, velkého rozptylu výsledků a rozdílných vnějších okolností. Úbytek pevnosti v tlaku a tahu za ohybu v čase je uveden v tab.13 ještě na příkladu epoxydové pryskyřice.

Tabulka 13.

Čas	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu
Krátkodobě	100%	100%
1 hod.	79%	80%
10 hod.	77%	76%
100 hod.	75%	72%
1000 hod.	72%	67%
10000 hod.	69%	63%
20000 hod.	68%	62%

Chování materiálu při opakovaném zatížení se popisuje mezi odolností (pevností v únavě); t.j. maximálním napětím, při kterém hmota vydrží 2-10.10⁶ zatěžovacích cyklů (podle dohody) bez porušení. Vysokou pevností v únavě vynikají mm-hmoty, jestliže mají:

- a) velkou pevnost při krátkodobém zatížení
- b) malé vnitřní tření
- c) vysokou chemickou odolnost

3.4.2. Přetváření

Celkové přetvoření ϵ sestává při zatěžování amorfních mm-hmot (plastomerů) - na rozdíl od hmot krystalických - ze tří částí:

- a) pružné přetvoření ϵ_1 , probíhající s rychlostí zvuku
- b) nadpružné přetvoření ϵ_2 , závislé značně na teplotě (zpóžděná pružnost)
- c) plastická přetvoření ϵ_3 (vazké tečení), závislé rovněž na teplotě

Pružné přetvoření je vázáno změnou mezimolekulárních a meziatomových vzdáleností a úhlů vazby. Pružná přetvoření jsou malá i při vysokých napětích; to odpovídá vysokému modulu pružnosti. Proces je plně vratný, neboť není provázen přesunem jednotlivých molekul (vnitřním třením) nebo změnou jejich vnitřní struktury.

Nadpružné přetvoření je výsledkem změny tvaru ohebných řetězových molekul mm-hmoty, rozvinujících se z nepravidelných tvarů do dlouhodobých přímých řetězců. Proto zde zůstává stálý měrný objem při namáhání, což vyjadřuje velikost Poissonova součinitele $\mu = 0,5^x$). Při ochlazení mm-hmoty se velikost nadpružného přetvoření zmenšuje; tento jev však souvisí s krystalisací. Modul pružnosti roste se zvětšováním teploty, zatím co pro běžné pružné hmoty ubývá. Nadpružná deformace je charakterisována malým modulem pružnosti a náhlým nebo plynulým zpevněním. Přitom zůstává proces plně vratný.

U nadpružných hmot dochází při adiabatickém přetvoření tahem k ohřátí^{xx}). Tato anomalie souvisí se skutečností, že u tažených

x) Typickým představitelem hmot s nadpružným přetvořením jsou elastomery. Mají schopnost se přetvářet ve značných mezích a průběh přetvoření se liší od obyčejného pružného přetvoření jak velikostí, tak tvarem.

Změna teploty provázející změnu objemu je buď zahřátí nebo ochlazení. Podle pravidla Le Chatelierova-Braunova je znaménko změny teploty takové, že se zmenšují přetvoření vyvozené napětím. U látky tažené, která se ohříváním natahuje (obyčejné pružné hmoty, jako např. ocel) nastane při adiabatickém přetvoření tahem ochlazení.

nadpružných hmot má lineární tepelné šíření záporné znaménko.

Při namáhání nadpružných hmot neplatí přímá lineární závislost napětí na přetvoření, ale křivková, ve tvaru písmena S (obr.16). Tuto křivku zřejmě nelze popsat jenom jedním parametrem (např. Youngovým modulem pružnosti).

Obr. 16.

Deformační křivka nadpružných hmot

Pro změnu nadpružného přetvoření v čase při konstantním zatížení platí vztah

$$(\xi_2)_{t_0} = (\xi_2)_{\infty} \cdot (1 - e^{-\frac{t_0}{\tau}}),$$

kde $(\xi_2)_{t_0}$ - přetvoření, pozorované v době t_0 od počátku působení síly,

(ξ_2) - konečná rovnovážná hodnota přetvoření,

τ - doba relaxace.

Plné přetvoření (mimo obor plasticity) může být vyjádřeno součtem pružného přetvoření ξ_1 a nadpružného přetvoření ξ_2 , takže

$$\xi = \xi_1 + (\xi_2)_{\infty} \cdot (1 - e^{-\frac{t_0}{\tau}}).$$

Plastické přetvoření souvisí s nevratným přemístěním molekul na poměrně velkou vzdálenost; přitom tyto molekuly přerušují vazby se svými původními sousedy a navazují vazby s novými molekulami. Při zahřívání plastické deformace rostou.

Při přetváření mm-hmot má velký význam relaxace, t.j. postupný přechod systému z nerovnovážného stavu, způsobeného vnějšími příčinami, v rovnovážný (změna napětí při stálé deformaci).

S tím souvisí zpožděné přetvoření (dotvarování, tečení, creep), které znamená přechod pružných deformací v zatíženém tělese v plastické (deformační proces pod stálým napětím).

Dotvarování je jedna ze specifických vlastností plastických hmot. O dotvarování (tečení) plastických hmot byla publikována v posledních desetiletích řada teoretických i experimentálních prací. Žádná z teoretických prací však s konečnou platností nepopisuje všechny složité procesy, procházející při dlouhodobém namáhání ve hmotě a každá z nich vychází z jistého předpokladu nebo omezení.

Zjednodušeně se deformační procesy plastických hmot popisují pomocí modelů dvou základních mechanismů: deformace ideálně pružné pevné látky a ideálního toku kapaliny. Kombinace těchto základních vlastností jsou známy (pod názvem pružnovazkových pevných látek Voigta a vazkopružných látek Maxwella, majících vlastnosti kapalin. Teorie těchto látek je označována bez ohledu na to, jde-li o kapalinu nebo pevné látky teorií vazkopružných látek.

Při konstantní teplotě a čase jsou pro plastické hmoty typické diagramy napětí a deformace podle obr. 17.

Obr. 17

Typické diagramy napětí x deformace plastických hmot

Zprvu se hmota chová podle Hookova zákona až do meze pružnosti. V tomto okamžiku je překročena pevnost některých mezimolekulárních soudržných sil ve hmotě a soudržnost hmoty klesá. Další deformaci klade hmota již menší odpor, dochází příp. k borcení struktury, což vede i ke snížení napětí až při maximální deformaci dojde k přetržení materiálu.

Plastické hmoty se chovají rozdílně, jsou-li namáhány v tlaku nebo tahu (viz obr. 18). Charakteristické křivky napětí-deformace jednotlivých představitelů plastických hmot ukazuje obr. 19a až e, odděleně termosety (obr. 19a až b) a termoplasty (19c až e). Uvažujeme-li vedle proměnných napětí a deformací ještě čas, dochází

nadpružných hmot má lineární tepelné šíření záporné znaménko.

Při namáhání nadpružných hmot neplatí přímá lineární závislost napětí na přetvoření, ale křivková, ve tvaru písmena S (obr.16). Tuto křivku zřejmě nelze popsat jenom jedním parametrem (např. Youngovým modulem pružnosti).

Obr. 16.
Deformační křivka nadpružných hmot

Pro změnu nadpružného přetvoření v čase při konstantním zatížení platí vztah

$$(\xi_2)_{t_0} = (\xi_2)_{\infty} \cdot (1 - e^{-\frac{t_0}{\tau}}),$$

kde $(\xi_2)_{t_0}$ - přetvoření, pozorované v době t_0 od počátku působení síly,

$(\xi_2)_{\infty}$ - konečná rovnovážná hodnota přetvoření,

τ - doba relaxace.

Plné přetvoření (mimo obor plasticity) může být vyjádřen součtem pružného přetvoření ξ_1 a nadpružného přetvoření ξ_2 , takže

$$\xi = \xi_1 + (\xi_2)_{\infty} \cdot (1 - e^{-\frac{t_0}{\tau}}).$$

Plastické přetvoření souvisí s nevratným přemístěním molekul na poměrně velkou vzdálenost; přitom tyto molekuly přerušují vazby se svými původními sousedy a navazují vazby s novými molekulami. Při zahřívání plastické deformace rostou.

Při přetváření mm-hmot má velký význam relaxace, t.j. postupný přechod systému z nerovnovážného stavu, způsobeného vnějšími příčinami, v rovnovážný (změna napětí při stálé deformaci). S tím souvisí zpožděné přetvoření (dotvarování, tečení, creep), které znamená přechod pružných deformací v zatíženém tělese v plastické (deformační proces pod stálým napětím).

Dotvarování je jedna ze specifických vlastností plastických hmot. O dotvarování (tečení) plastických hmot byla publikována v posledních desetiletích řada teoretických i experimentálních prací. Žádná z teoretických prací však s konečnou platností nepopisuje všechny složité procesy, procházející při dlouhodobém namáhání ve hmotě a každá z nich vychází z jistého předpokladu nebo omezení.

Zjednodušeně se deformační procesy plastických hmot popisují syntézou modelů dvou základních mechanismů: deformace ideálně pružné pevné látky a ideálního toku kapaliny. Kombinace těchto základních vlastností jsou známy (pod názvem pružnovazkých pevných látek Voigta a vazkopružných látek Maxwella, majících vlastnosti kapalin. Teorie těchto látek je označována bez ohledu na to, jde-li o kapalinu-nebo pevné látky teorií vazkopružných látek.

Při konstantní teplotě a času jsou pro plastické hmoty typické diagramy napětí a deformace podle obr. 17.

Obr. 17

Typické diagramy napětí x deformace plastických hmot

Zprvu se hmota chová podle Hookova zákona až do neze pružnosti. V tomto okamžiku je překročena pevnost některých mezikolekulárních soudržných sil ve hmotě a soudržnost hmoty klesá. Další deformaci klade hmota již menší odpor, dochází příp. k borcení struktury, což vede i ke snížení napětí až při maximální deformaci dojde k přetržení materiálu.

Plastické hmoty se chovají rozdílně, jsou-li namáhány v tlaku nebo tahu (viz obr. 18). Charakteristické křivky napětí-deformace jednotlivých představitelů plastických hmot ukazuje obr.19a až e, odděleně termosety (obr.19a až b) a termoplasty (19c až e). Uvažujeme-li vedle proměnných napětí a deformací ještě čas, dochází

ke změně křivky napětí-deformace v průběhu doby podle obr. 20

Obr. 18.

Rozdíl pracovního diagramu plastických hmot při namáhání v tlaku a v tahu

Obr. 19.

Charakteristické pracovní diagramy některých představitelů plastických hmot.

Obr. 20.

Vliv teploty na pracovní diagramy plastických hmot.

Uvažujeme-li vedle napětí a deformací proměnnou ještě teplotu v oboru fyzikálních účinků (obr. 20b), dochází k velmi podobné změně křivky deformace napětí jako při dlouhodobém namáhání. Tyto křivky byly měřeny na termosetickém materiálu, který se vyznačuje trojrozměrnou strukturou a má na něj tedy působením obou faktorů-času i teploty-podle strukturálních předpokladů menší vliv než na termoplasty, kde lineární řetězce jsou spojeny jen mezimolekulárními silami a podle velikosti skupin vázaných na uhlíkovém řetězci jsou více nebo méně odolné teplotě a viskozitě toku. Změnu pružnosti různých lineárních polymerů (termoplastů) s teplotou ukazuje obr. 21.

Obr. 21.

Změna pružnosti termoplastů s teplotou.

Hysterese

Ukázáno, že mm-hmoty jsou nedokonale pružné; vzestupná závislost deformace napětí se v důsledku vnitřního tření odvíjí se sestupnou větví (ani v oboru malých namáhání), dojde k hysterese.

Vznik hysterese, t.j. schopnost pohlcovat mechanickou energii je jednou z důležitých vlastností mm-hmot, odlišnou od chování klasických hmot.

Hysterese, pozorovaná při deformaci nadpružných mm-hmot, je způsobena tření příčinkami:

- a) relaxačním charakterem nadpružnosti (časové opožďování změny deformace při změně síly),
- b) strukturálními změnami, především přeměnou amorfni látky v krystalickou (orientovanou),
- c) nevratnými plastickými deformacemi, způsobenými vzájemným posunem jednotlivých článků struktury.

Plocha hysteresní smyčky, kterou zavírá vzestupná (A) a sestupná (B) větev závislosti $\sigma \times \xi$ (obr.22), je úměrná množství práce, spotřebované materiálem na jeho přetváření v jednom cyklu zatížení. Jev hysterese obvykle provází vznik trvalých deformací (remonence). Avšak i v případě, že se zánikem napětí zaniknou také přetvoření (uzavřená hysteresní smyčka), jde o látky nedokonale pružné: zastaví-li se ubývající napětí na kterékoliv hodnotě nad nulou, zůstane přetvoření ξ_i pro každé napětí σ_i jiné.

Obr. 22.

Hysteresní smyčka pro mm-hmoty

Uzavřená hysteresní smyčka vzniká v případě náleho namáhání a je charakteristická pro mnohonásobnou deformaci. Nazývá se také pružná hysterese.

ke změně křivky napětí-deformace v průběhu doby podle obr. 20a.

Obr. 18.

Rozdíl pracovního diagramu plastických hmot při namáhání v tlaku a v tahu

Obr. 19.

Charakteristické pracovní diagramy některých představitelů plastických hmot.

Obr. 20.

Vliv teploty na pracovní diagramy plastických hmot.

Uvažujeme-li vedle napětí a deformací proměnnou ještě teplotu v oboru fyzikálních účinků (obr. 20b), dochází k velmi podobné změně křivky deformace napětí jako při dlouhodobém namáhání. Tyto křivky byly měřeny na termosetickém materiálu, který se vyznačuje trojrozměrnou strukturou a má na něj tedy působením obou faktorů-času i teploty-podle strukturálních předpokladů menší vliv než na termoplasty, kde lineární řetězce jsou spojeny jen mezimolekulárními silami a podle velikosti skupin vázaných na uhlíkovém řetězci jsou více nebo méně odolné teplotě a viskoznímu toku. Změnu pružnosti různých lineárních polymerů (termoplastů) s teplotou ukazuje obr. 21.

Obr. 21.

Změna pružnosti termoplastů s teplotou.

3.4.3. Hysterese

Bylo ukázáno, že mm-hmoty jsou nedokonale pružné; vzestupná větev závislosti deformace napětí se v důsledku vnitřního tření neshoduje se sestupnou větví (ani v oboru malých namáhání), dochází k hysterese.

Vznik hysterese, t.j. schopnost pohlcovat mechanickou energii je jednou z důležitých vlastností mm-hmot, odlišnou od chování klasických hmot.

Hysterese, pozorovaná při deformaci nadpružných mm-hmot, je způsobena tření příčinkami:

- a) relaxačním charakterem nadpružnosti (časové opožďování změny deformace při změně síly),
- b) strukturními změnami, především přeměnou amorfní látky v krystalickou (orientovanou),
- c) nevratnými plastickými deformacemi, způsobenými vzájemným posunem jednotlivých článků struktury.

Plocha hysterese smyčky, kterou uzavírá vzestupná (A) a sestupná (B) větev závislosti σ x ϵ (obr.22), je úměrná množství práce, spotřebované materiálem na jeho přetváření v jednom cyklu zatížení. Jev hysterese obvykle provází vznik trvalých deformací (remonence). Avšak i v případě, že se zániken napětí zaniknou také přetvoření (uzavřená hysterese smyčka), jde o látky nedokonale pružné: zastaví-li se ubývající napětí na kterékoliv hodnotě nad nulou, zůstane přetvoření ϵ_i pro každé napětí σ_i jiné.

Obr. 22.

Hysterese smyčka pro mm-hmoty

Uzavřená hysterese smyčka vzniká v případě náleho namáhání a je charakteristická pro mnohonásobnou deformaci. Nazývá se také pružná hysterese.

Různost v průběhu vzestupné a sestupné větve diagramu $\sigma \times \xi$ způsobuje zejména vnitřní tření, t.j. nesouhlas mezi časem působení zatížení a časem potřebným pro vznik rovnováhy mezi napětím a deformací. Naproti tomu otevřená hysterese smyčka (obr.22) je průvodním zjevem při velkých přetvořeniích a je podmíněna přítomností nevratného plastického tečení a nepružného přetvoření.

Pružné vlastnosti mm-hmot je možné objektivně posuzovat na základě průběhu přetvoření zejména podle hodnoty potenciální pružné energie, nebo jí číselně rovné deformační práce, příp. práce pohlcené.

Plocha Π_1 , omezená vzestupnou větví (A) a osou souřadnic (obr.22) je úměrná práci spotřebované na úplné přetvoření. Plocha Π_2 omezená sestupnou větví (B) a osou souřadnic, je mírou navrácené práce. Rozdíl obou ploch $\Pi = \Pi_1 - \Pi_2$, odpovídající ploše hysterese smyčky, je úměrný ztrátě energie, které bylo spotřebováno na překonávání nepružných odporů a přešla v energii jinou (tepelnou, magnetickou a pod.). Poměr práce zmařené Π k celé přetvárné práci Π_1 je charakteristikou látky, pohltivosti energie (resilience).

Vyneseme-li na osu souřadnic délkové přetvoření ξ a na osu pořadnic zatížení P, pak (považujeme-li sílu v mezích elementárního přírůstku přetvoření za konstantní), je celková přetvárná práce (potenciální pružná energie).

$$A = K \int_{\Delta l=0}^{\Delta l=\max} P(\Delta l) d \Delta l \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Měrná deformační práce (na jednotku objemu) je z toho

$$A_m = K \int_{\xi=0}^{\xi=\max} \sigma(\xi) d \xi \quad (\text{kg/cm}^2)$$

je-li napětí σ a poměrné přetvoření prvku ξ .

Často potřebnou veličinou je též jednotková energie (na jednotku váhy hmoty -kgcm/kg). Používá se např. při stanovení největší energie napjatosti, při níž ještě nedojde k trvalému přetvoření (t.j. modulu resilience) nebo při stanovení množství pohlcené energie.

Jev hysterese má zvláštní význam při střídavém namáhání. V protikladu ke statickému namáhání mohou vzniknout vlivem vnitřního tření v mm-hmotách mikroskopické trhliny, oslabující materiál. Jestliže zatěžovací cykly následují těsně za sebou, pak při dalších cyklech závislost $\sigma \times \xi$ bude téměř přímková a plocha hysterese smyčky se zmenšuje stejně jako velikost trvalého přetvoření. To je pro praxi velice důležité a potvrzuje to, že v prvních cyklech probíhají v mm-hmotě strukturální změny, v jejichž důsledku přechází hmota do stavu více se přibližujícímu ideálnímu pružnému tělesu. Jestliže mezi cykly uplyne značná doba, pak velikost hysterese se proti prvnímu cyklu nemění.

3.4.4. Vliv teploty

Vliv teploty na chování mm-hmoty je daleko důležitější než u klasických materiálů. Teplota značně ovlivňuje modul pružnosti, rychlost tečení, pevnost, tažnost atd.

Přitom ovlivnění teplotou je u různých druhů mm-hmot poměrně velmi rozdílné. U tvrditelných pryskyřic se ovlivňuje teplotou podstatně též stupeň vytvrzení. Je proto nezbytné vliv teploty na průběh i velikost různých fyzikálních veličin velmi podrobně sledovat.

V obr. 23 jsou pro ilustraci vyznačeny závislosti některých veličin na teplotě.

Obr. 23.

Závislost pevnosti a přetvoření na teplotě

3.4.5. Ostatní

Kromě všech časových a teplotních závislostí jsou důležité zkoušky vlivu vlhkosti a zkoušky stárnutí působením vnějších činitelů: atmosferického kyslíku, korozních činitel, ultrafialového záření, radioaktivního záření. Zejména je zapotřebí znát odolnost hmot při trvalém působení agresivních prostředí a jejich vliv na průběh různých veličin.

Popis některých plastických

h m o t

Plastické hmoty nejčastěji užívané ve stavebnictví jsou uvedeny v tabulce 14 (str.84-89). Plastické hmoty zde uvedené jsou rozděleny do skupin podle základního charakteru hmoty. Je uvedeno chemické složení, stavba jednotlivých plastických hmot a výchozí suroviny pro jejich výrobu. Dále je stručně popsán vnější vzhled a základní vlastnosti (charakteristické) a udán výrobce v ČSSR. Nakonec je uveden druh výrobků a možné použití ve stavebnictví. U některých nejdůležitějších hmotách bude dále ještě zvlášť pojednáno. Zejména budou uvedeny jejich mechanické a fyzikální vlastnosti a jejich chemická odolnost.

4.1. Polyetylen

Je to tvrdý bílý materiál, jehož vlastnosti obsahuje tabulka 15. Patří k nejjednodušším makromolekulárním látkám, avšak přes jednoduchost struktury je vlastní jejich výroba, zejména na vyšší polymerační stupeň, velmi obtížná. Tím lze vysvětlit, proč vlastně polyetyleny, zejména tuhých skupenství, patří k poněkud novým plastickým hmotám.

Tuhé polyetyleny jsou látky podobné parafinu, jsou však tvrdší, pružné a pevné. Jsou zcela bez chuti a bez zápachu. V chování k vodě jeví parafinický charakter (odpuzují ji).

Polyetyleny se nemění ani dlouhodobým osvětlováním ultrafialovými paprsky; ozon je porušuje. Na vzduchu se nemění a teprve při trvalém zahřívání na 100°C se zvolna oxydují. Specifická váha je 0,85 až 0,9. Elektrické vlastnosti jsou dobré, Polyetyleny se vyznačují velmi nízkou dielektrickou konstantou (asi 2), která se prakticky nemění v rozmezích frekvence 50 až 10⁹Hz. Elektrický odpor je značně vysoký, jako u parafinů. Ztrátový úhel (tg α)

Název skupiny	Název druhu	Chemické složení a stavba	Výchozí suroviny	Vnější vzhled, základní vlastnosti	Výrobce v ČSSR	Druh výrobků	Použití ve stavebnictví
Etylenové hmoty	Polyetylen	$[-CH_2 - CH_2 -]_n$	etylen (plyn)	Tvrký bílý materiál mírně průsvitný, ohebný, stlačitelný, dobře chemicky odolný, s dobrými elektroizolačními vlastnostmi. Podle výroby nízkotlaký s molekulovou vahou až 100 000, nebo vysokotlaký s molekulovou vahou 18 000 až 35 000, s přísadou cca 35% polyisobutylenu tzv. kabelový	Fatra, Plastimat	Folie, desky, trubky, hadice, sanitní technika	Isolace a ochrana proti vodě a agresivním prostředím, vodovodní potrubí, sanitární technika, obklady.
	Polypropylen	$[-CH_2 - CH_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} -]_n$	Propylen (plyn)	Bílý prášek nebo hrudky, tvrdší než polyetylen, vyšší tepelná odolnost, velmi dobře odolný proti vodě. Molekulová váha okolo 150 000.	Fatra, Chemické závody W. Piecka	Desky, folie, trubky	Podobně jako polyetylen, zvláště na ochranu a pro vedení teplé a horké vody
	Polyisobutylen	$[-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}} - CH -]_n$	Isobutylen (plyn)	Folie a desky elastické, podobné kaučukovým. Molekulová váha od 100 000 do 500 000, pod 50 000 je kapalina. Výborná stálost v různých agresivních prostředích (v kyselinách, zásadách i sůlích)	Ø	Protikorozní ochrana (folie, desky, nátěry)	Elastické spoje, velmi odolné různým agresivním činidlům, dilatační spáry a pod.
Vinylové hmoty	Polyvinylchlorid	$[-CH_2 - CHCl -]_n$	Koks, vápno, acetylen, chlorid sodný, vodík	Prášek nebo hrudky bílé nebo světležluté. Desky tmavočervenohnědé tuhé, desky světležluté pružné. Tvrký, tuhý, teplem lehce tvarovatelný, s dobrou chemickou odolností, v mraze křehne. Molekulová váha 12 000 - 30 000	Fatra Napajedla, Chemické závody W. Piecka, Nováky (novodur, vinydur, novoplast atd.)	Tvrký PVC: Desky, trubky. Měkčený PVC: Desky a folie (podlahové krytiny, koženka, záclony, tapety) Suspensní PVC: Ochranné nátěry antikorozní a nepropustné Lehčený tvrdý PVC: tepelná izolace	Isolace a ochrana proti vodě a agresivním prostředím, potrubí pro neteplé kapaliny, krytiny, obklady, tapety, čalounění atd.
	Polyperchlorvinyl	$[-CHCl - CHCl -]_n$	Jako polyvinylchlorid	Prášek nebo roztok z něj	Ø	Lepidla, laky, barvy, folie, vlákna	Speciální užití
Etylenové hmoty	Polyvinylacetát (PVAc)	$[-CH_2 - CH(OCOCH_3) -]_n$	Acetylen a kyselina octová	Sklovitý, perličkovitý materiál bílé barvy nebo vodní emulze smetanově bílá. Při trvalém styku s vodou bobtná, rozpustný v mnoha rozpouštědlech	Chem. záv. W. Piecka, Nováky, Chem. záv. J. Dimitrova-Bratislava, Barvy a laky Praha, Rohoplast Praha, Vých. čes. záv. Pardubice	Lepidlo, disperze, tmely, nátěry	Jako přísada do betonu a malt, pojivo na přípravu tmelů a šterkových podlah, nátěry na ochranu fasád a interiérů, lepidla (např. parket)

Název skupiny	Název druhu	Chemické složení a stavba	Výchozí suroviny	Vnější vzhled, základní vlastnosti	Výrobce v ČSSR	Druh výrobků
	Polyvinylalkohol	$[-CH_2-CHOH-]_n$	Zmýdelnění polyvinylacetátu v alkohol. roztoku v kys. nebo zásad. prostředí	Bílý prášek rozpustný ve vodě a mnoha organických rozpouštědlech	Chem. závody W. Piecka, Nováky	Polyvinylalkohol práškový a v roztoku
Polyamidy	Polyamidy	$[-NH(CH_2)_xCO-]_n$ nebo $[-NH(CH_2)_xNH.CO.(CH_2)_y.CO-]_n$	Dikarbonové kyseliny s diaminy nebo ω-aminokyseliny nebo laktamy s α-aminokyselin	Tuhé, mimořádně pevné, dosti průsvitné, bezbarvé až nažloutlé, vynikající mechanické vlastnosti, fyziologicky nezávadné, molekulová váha 10 000 až 25 000	Chemko Strážské, Chem. záv. W. Piecka Nováky, Silon. Plana n. Luž.	Vlákna, folie, laky
Styrény	Polystyrén	$[-CH_2-CH(C_6H_5)-]_n$	Etylén a benzol (z kamenouhelného dřevu)	Průsvitné desky, hrudky nebo prášek. Tvrdý, křehký (nízkomolekulární), molekulová váha 50 000 až 300 000. Nejlepší vlastnosti při molekulové váze 200 000-300 000. Absolutně stálý ve vodě, odolný různým chemickým prostředím, výborné elektrické vlastnosti. Dobře rozpustný v mnoha organických rozpouštědlech	Chem. záv. W. Piecka Nováky, Plastimat Praha, VCHZ Pardubice, Kaučuk Kralupy	Desky, folie, bloky, lehčený v blocích, deskách, granulích
Akrylové pryskyřice	Polymethylmetakrylát (organické sklo)	$[-CH_2(COOCCH_3)-COOCH_3-]_n$	Acetylén a líh	Průhledné bezbarvé bloky a desky nebo bílý prášek. Houževnatý za tepla, dobře tvarovatelný, s velkou propustností světla, rozpustný v mnoha organických rozpouštědlech. Dobrá odolnost proti působení tuků a povětrnosti. Molekulová váha bloku přes 200 000, prášek 40 000 až 200 000	Chem. záv. W. Piecka Nováky, VCHZ Pardubice, Rohoplast Praha, Dental Praha	Bloky, desky, tyče, laky, lepidla, disperse
Polykarbonáty	Polykarbonáty	$[C_6H_4-C(CH_3)_2-C_6H_4-O-C(=O)-O]_n$	Polyestery, kyseliny uhličitě a dianu	Granule, prášek. Velmi vysoké mechanické pevnosti, zvláště vysoká odolnost k působení úderu, malá nasáklivost, dobrá tepelná odolnost i odolnost atmosfer. vlivům, vysoká	∅	Desky a různé výrobky, folie, vlákna

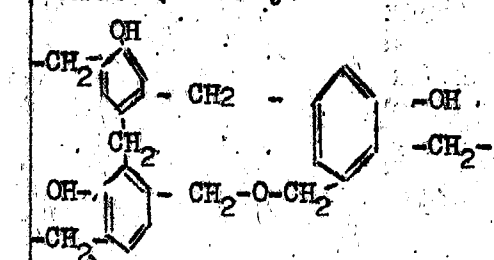
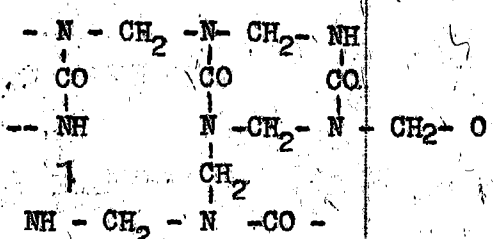
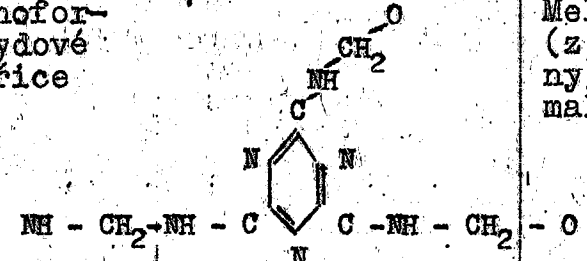
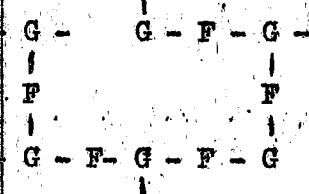
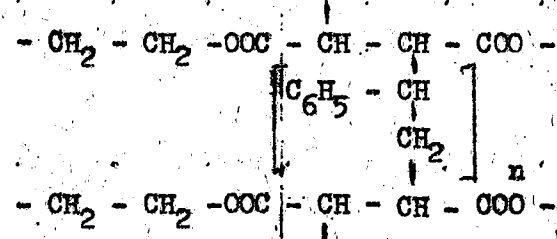
Název skupiny	Název druhu	Chemické složení a stavba	Výchozí suroviny	Vnější vzhled, základní vlastnosti	Výrobce v ČSSR	Druh výrobků	Použití ve stavebnictví
	Polyvinylalkohol	$[-CH_2-CHOH-]_n$	Zmýdelnění polyvinylacetátu v alkohol. roztoku v kys. nebo zásad. prostředí	Bílý prášek rozpustný ve vodě a mnoha organických rozpouštědlech	Chem. závody W. Piecka, Nováky	Polyvinylalkohol práškový a v roztoku	Přísada k cementovým a sádrovým pojivům
Polyamidy	Polyamidy	$[-NH(CH_2)_xCO-]_n$ nebo $[-NH(CH_2)_xNH.CO.(CH_2)_y.CO-]_n$	Dikarbonové kyseliny s diaminy nebo ω-aminokyseliny nebo laktamy ε-aminokyselin	Tuhé, mimořádně pevné, dosti průsvitné, bezbarvé až nažloutlé, vynikající mechanické vlastnosti, fyziologicky nezávadné, mol. hmotnost 10 000 až 25 000	Chemko Strážské, Chem.záv. W. Piecka Nováky, Silon. Pláň n. Luž.	Vlákna, folie, laky	Tkaniny ze silonových vláken na nafukovací konstrukce a bednění, folie k izolaci proti některým činičům (zejména různým druhům uhlovodíku)
Styrény	Polystyrén	$[-CH_2-CH(C_6H_5)-]_n$	Etylén a benzol (z kamenného uhlénohledu)	Průsvitné desky, hrudky nebo prášek. Tvrdý, křehký (nízkomolekulární), mol. hmotnost 50 000 až 300 000. Nejlepší vlastnosti při molekulové váze 200 000-300 000. Absolutně stálý ve vodě, odolný různým chemickým prostředím, výborné elektrické vlastnosti. Dobře rozpustný v mnoha organických rozpouštědlech	Chem.záv.W. Piecka Nováky, PlastiMat Praha, VCHZ Pardubice, Kaučuk Kralupy	Desky, folie, bloky, lehčený v blocích, deskách, granulích	Výrobky sanitární techniky, obklady, potrubí, různé druhy tepelných izolací, izolační vrstva sandvičů, disperse nátěry. Monomerní styren $[-C_6H_5-CH=CH_2/$ jako ředidlo nenasycených polyesterových pryskyřic a ke kopolymeraci s butadienem (přísada do betonu, podlahová krytina)
Akrylové pryskyřice	Polymethylmetakrylát (organické sklo)	$[-CH_2(COOCH_3)-CO-C(CH_3)_2-]_n$	Acetylén a líh	Průhledné bezbarvé bloky a desky nebo bílý prášek. Houževnatý za tepla, dobře tvarovatelný, s velkou propustností světla, rozpustný v mnoha organických rozpouštědlech. Dobrá odolnost proti působení tuků a povětrnosti. Molekulová váha bloku přes 200 000, prášek 40 000 až 200 000	Chem.záv.W. Piecka Nováky, VCHZ Pardubice, Rohoplast Praha, Dental Praha	Bloky, desky, tyče, laky, lepidla, disperse	Zasklívání, speciální izolace, nátěry
Polykarbonáty	Polykarbonáty	$[C_6H_4-C(CH_3)_2-CO-C_6H_4-CO-]_n$	Polyestery, kyseliny uhličitě a dianu	Granule, prášek. Velmi vysoké mechanické pevnosti, zvláště vysoká odolnost k působení úderu, malá nasáklivost, dobrá tepelná odolnost i odolnost atmosfer.vlivům, vysoká		Desky a různé výrobky, folie, vlákna	Výborný konstrukční materiál pro vysoce mechanicky namáhané detaily ve stavebnictví, s vysokou průsvitností a chemickou odolností

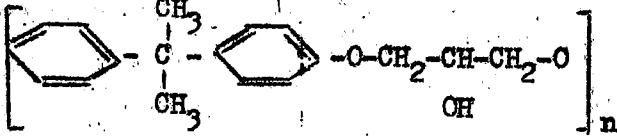
Název skupiny	Název druhu	Chemické složení a stavba	Výchozí suroviny	Vnější vzhled, základní vlastnosti	Výrobce v ČSSR	Druh výrobků	Použití ve stavebnictví
				<u>Pokračování:</u> odolnost proti působení kyselin i při zvýšených teplotách. Své mechanické vlastnosti si ponechává v intervalu od -70° do + 200°C. Tvarová stálost			
Polyformaldehyd	Polyformaldehyd	$-O-CH_2-$ / _n	Formaldehyd	Bílý neprůsvitný materiál lehce barvitelný, pevný, houževnatý s vysokým modulem pružnosti při zvýšených teplotách, velká únavová pevnost a odolnost k obrusu. Neodolává působení silných kyselin a zásad, pro vodu je nepropustný	Ø	Tlakové trubky, folie	Tlakové potrubí (do 120°C), armatury, vodonepropustné izolace
Kopolymery	Vinylchlorid-vinylacetát	$\left[\begin{array}{c} -CH-CH_2-CH-CH_2- \\ \quad \\ Cl \quad OC.OCH_3 \end{array} \right]_n$	Acetylen a kyselina octová	Bezbarvé, čiré (s vyšším obsahem vinylacetátu), dobře rozpustné v organických rozpouštědlech, nasákavost do 2%, disperse tvoří po vyschnutí souvislý film	Chemko Strážské, Barvy a laky Praha	Disperse, prášek, nátěrové hmoty	Podobně jako disperse PVAc; nátěry odolávající vodě a povětrnosti
	Vinylchlorid-vinylidenchlorid (saran)	$-CHCl-CH_2-CCl_2-CH_2-$ / _n	Koks, vápno, chlorid sodný, vodík	Zlepšené mechanické vlastnosti, odolnosti povětrnostním vlivům a lepší chemická odolnost než vinylchlorid	Chem.záv.W. Piecka Nováky	50% disperse u kopolymeru, desky, vlákna, folie	Izolace a ochrana proti vodě a agresivním prostředím, potrubí pro neteplé kapaliny, krytiny, obklady, tapety, čalounění atd.
	Chlorovaný PVC	PVC upravený dodatečným chlorováním	"	Zlepšené mechanické vlastnosti, odolnost za tepla, lepší elektrické vlastnosti, lepší rozpustnost v organických rozpouštědlech		Tvrký PVC: desky, trubky. Měkčený PVC: desky a folie (podlahové krytiny, koženka, záclony, tapety) Suspensní PVC: Ochranné nátěry antikorozní a nepropustné Lehčený tvrdý PVC: tepelná izolace	Izolace a ochrana proti vodě a agresivním prostředím, potrubí pro neteplé kapaliny, krytiny, obklady, tapety, čalounění atd.

Název skupiny	Název druhu	Chemické složení a stavba	Výchozí suroviny	Vnější vzhled, základní vlastnosti	Výrobce v ČSSR	Druh výrobků	Použití ve stavebnictví
Polyfluoretyleny	Polytetrafluoretylen (teflon)	$[-CF_2-]_n$	Etylen	Bílý tuhý materiál s velkými mechanickými pevnostmi nemění v rozmezí od $-80^{\circ}C$ do $+300^{\circ}C$. Výborné elektrické vlastnosti. Odolný vodě a chemicky netečný. Nerozpouští se ani neobtná v žádných rozpouštědlech, minerálních kyselinách nebo zásadách. Je napadán jen roztavenými alkalickými kovy. Dosud příliš drahý pro technické použití.	Spolek pro chemickou a hutní výrobu - Ústí nad Labem	Bloky, desky, folie, trubky, vodní disperse	Těsnění, filtry, obklady a pod. v chemickém průmyslu
	Polytrifluorochloretylen (teflex)	$[-CF_2-CFCl-]_n$	Etylen	Jako teflon, s větší povrchovou tvrdostí, s větším modulem pružnosti a většími pevnostmi, menší odolností za tepla, horší chemickou odolností.	Ø	Bloky, desky, folie, trubky, vodní disperse	Těsnění, filtry, obklady, a pod. v chemickém průmyslu

Název skupiny	Název druhu	Chemické složení a stavba	Výchozí suroviny	Vnější vzhled, základní vlastnosti	Výrobce v ČSSR	Druh výrobků	Použití ve stavebnictví
Polyfluoretyleny	Polytetrafluoretylen (teflon)	$[-CF_2-]_n$	Etylen	Bílý tuhý materiál s velkými mechanickými pevnostmi nemění v rozmezí od $-80^{\circ}C$ do $+300^{\circ}C$. Výborné elektrické vlastnosti. Odolný vodě a chemicky netečný. Nerozpouští se ani neobtěžná v žádných rozpouštědlech, minerálních kyselinách nebo zásadách. Je napadán jen roztavenými alkalickými kovy. Dosud příliš drahý pro technické použití.	Spolek pro chemickou a hutní výrobu - Ústí nad Labem	Bloky, desky, folie, trubky, vodní disperse	Těsnění, filtry, obklady a pod. v chemickém průmyslu
	Polytrifluorochloretylen (teflex)	$[-CF_2-CFCl-]_n$	Etylen	Jako teflon, s větší povrchovou tvrdostí, s větším modulem pružnosti a většími pevnostmi, menší odolností za tepla, horší chemickou odolností.	Ø	Bloky, desky, folie, trubky, vodní disperse	Těsnění, filtry, obklady a pod. v chemickém průmyslu

II. Termosety

Název skupiny	Název druhu	Chemické složení a stavba	Výchozí suroviny	Vnější vzhled, základní vlastnosti	Výrobce v ČSSR	Druh výrobků	Použití ve stavebnictví
Fenoplasty	Fenolformaldehydové pryskyřice (resoly)		Fenol (z kamenuhelného dehtu) a formaldehyd (z metanu nebo metylovaného alkoholu)	Tmavé pevné materiály odolné vodě a chemickým činidlům	MCHZ Ostrava, Kablo Bratislava, VCHZ Pardubice, Plastimat Praha, Spolek pro chemickou a hutní výrobu Ústí n.L., Bučina Zvolem, Solo Sušice	Lisovací prášky tmavé barvy nebo tekuté pryskyřice, roztok prášku v alkoholu a pod. (tvarovky, trubky, armatury, desky, vlnovky a pod.)	Vrstvené lisované hmoty z papíru, textilu, skelných a jiných vláken, Faolit (plněný asbestem nebo grafitem), lehčené hmoty, kyselinovzdorné tmely, lepidla, chemicky odolné izolace (nátěry, tmely, obklady)
Aminoplasty	Močovinoformaldehydové pryskyřice (karbamidové)		Močovina a formaldehyd	Bílý krystalický prášek jako vodní roztok, vytvrzená je nerozpustná ve vodě, v organických rozpustidlech	VCHZ Pardubice, MCHZ Ostrava, Chemko Strážské	Desky, různé výlisky, (kliky, kohouty, telefony), pojivo dřevotřískových desek, lepidla dřevěných výrobků, lehčené hmoty	Vrstvené lisované hmoty z papíru, textilu, skelných a jiných vláken, dřevotřískové desky, lepidla, kyselinovzdorné tmely, nátěry, pojivo plastbetonů, lehčené (pěnové) hmoty
	Melaminofomaldehydové pryskyřice		Melamin (z močoviny) a formaldehyd	Prášek různých barev. Mají lepší vlastnosti než pryskyřice močovinoformaldehydové, větší odolnost proti vroucí vodě a větší odolnost za tepla	VCHZ Pardubice, MCHZ Ostrava, Chemko Strážské	Laky, lisovací hmoty, apretační prostředky, vrstvené hmoty	Vrstvené, lisované hmoty z papíru, textilu, skelných a jiných vláken, dřevotřískové desky, lepidla, kyselinovzdorné tmely, nátěry, pojivo plastbetonů, lehčené (pěnové) hmoty
	Močovinomelaminofomaldehydové pryskyřice	Směs dvou předchozích	Močovina, melamin, formaldehyd	Prášek různých barev, získává se kombinací některých výhodných vlastností obou hmot	VSCH Pardubice, MCHZ Ostrava, Chemko Strážské	Laky, lisovací hmoty, apretační prostředky, vrstvené hmoty	Vrstvené lisované hmoty z papíru, textilu, skelných a jiných vláken, dřevotřískové desky, lepidla, kyselinovzdorné tmely, nátěry, pojivo plastbetonů
Polyestery	Polyesterová pryskyřice glykoftalová, příp. jiné alkydové		Glycerin (G) a ftalová kyselina (F) z naftalenu	Měkké až tvrdé a křehké produkty s molekulovou vahou 600-1500, rozpustné v acetonu, cyklohexanonu, liho-benzinové směsi, odolné proti vodě, dobré dielektrické vlastnosti	Spolek pro chemickou a hutní výrobu Ústí n.L., Barvy a laky, Praha	Emulsní a roztokové nátěry	Nátěrové hmoty pro fasády a interiéry, omyvatelné
	Nenasycené polyestery		Maleinová kyselina (z benzolu) a dvouatomové alkoholy (z etylenu)	Vazkotekutý roztok pryskyřice ve styrenu. Podle složení (hlavně pryskyřice a styrenu) jsou vytvrzené pryskyřice rozmanité od tvrdých a tuhých až po měkké a ohebné hmoty. Tvrdnou při normální (pokojové teplotě). Dobrá chemická odolnost, stálost na světle a v atmos.podm.	Spolek pro chemickou a hutní výrobu Ústí n.L.	Laminační pryskyřice, tmely, lepidla	Pro výrobu prvků ze skelných laminátů, pojivo plastbetonu, přísada do cementového betonu, antikoroční tmely na úpravu povrchu stavebních konstrukcí, lepidla, laky

Název skupiny	Název druhu	Chemické složení a stavba	Výchozí suroviny	Vnější vzhled, základní vlastnosti	Výrobce v ČSSR	Druh výrobků	Použití ve stavebnictví
Epoxydy	Epoxydové pryskyřice	Např. 	Fenoly nebo polyalkoholy a epichlorhydrin nebo dichlorhydrin	Žluté viskosní kapaliny nebo tuhé látky. Velká houževnatost, dobré chemické vlastnosti, dobrá odolnost proti chemickým vlivům, výborná přilnavost ke všem materiálům	Spolek pro chemickou hutní výrobu Ústí n. L.	Lepidla, tmely, nátěrové hmoty, odlévací hmoty	Pojivo plastbetonů, přísada do cementových betonů, pro výrobu skelných laminátů, špachtlovací hmoty pro kyselinovzdorné podlahy a obklady, lepidla, vnitřní i vnější nátěry
Fyranové pryskyřice	Furylalkoholové pryskyřice	Různé hypotézy	Fural-aldehyd (z rostlinných surovin obsahujících pentošany)	Černé, tuhé hmoty s dobrými mechanickými vlastnostmi a výbornou chemickou odolností kyselinám i zásadám	Spolek pro chemickou a hutní výrobu Ústí n. L.	Tmely, nátěrové hmoty, laminární pryskyřice	Pojivo plastbetonu, přísada do cementových betonů, pro výrobu skelných laminátů, špachtlovací hmoty pro chemicky vzdorné podlahy a obklady, antikoroční nátěry
Polyuretany	Polyuretany		Alkoholy, diaminy, isokyanáty	Vlastnosti lze měnit v širokých mezích spojením s různými jinými pryskyřičení. Tak lze získat řadu termoplastů i termosetů, jsou tvrdé a křehké až měkké a pružné kaučukovité hmoty dobrých mechanických a elektrických vlastností. Nejsou odolné kyselinám a zásadám, odolávají olejem, benzinům, alkoholům, éteru. Velmi dobrá přilnavost	Fatra Napajedla (jen lehčené)	Lepidla, nátěrové hmoty, tmely, lehčené hmoty, pěny	Podlahy pro místnosti s velkou frekvencí (dobrá odolnost proti obrusu), lehčené hmoty (Molitan) jako tepelná izolace (desky nebo stříkáním).
Silikony	Siloxanové pryskyřice	-O-Si-_n R	Hydrolyzovatelné nízkomolekulární organokřemíčitě sloučeniny	Viskosní látky, kaučukovité látky, tuhé látky podle druhu strukturních jednotek. Mají velkou stabilitu při vyšších teplotách, výbornou chemickou odolnost, jsou hydrofobní, jejich mechanické vlastnosti obvykle nedosahují mechanických vlastností ostatních termosetů.	VCHZ Pardubice	Silikonové oleje, nátěrové hmoty, disperze, kaučuk	K hydrofobizaci omítek betonů střešních krytin. Jako přísada do betonů a malt ke zvýšení vodonepropustnosti. Separáční nátěry do bednění, pružné tmely a těsnění

0,0001 až 0,0003.

Polyetylen je výbornou isolační hmotou pro stavebnictví. Li-
je se nebo se zpracovává na kalandrech a vzniklé pásy se mohou
lisech svařovat. Bezešvé trubky a hadice menšího průměru se
tlačují.

bulka 15.

Vlastnost	Polyetylen		
	nízkotlaký	vysokotlaký	kabelový
Molekulová váha	100 000	18 000-30 000	směs se 35% polyisobutylenu
stupeň krystalizace	95%	55-70%	-
měrná váha	0,94	0,92	0,921
objemová váha granulí	500	500	500-550
pevnost v tahu kg/cm ²	200-230	70-140	65-75
pevnost v ohybu kg/cm ²	200-380	120-170	75
tažnost %	200-350	150-600	300-450
modul pružnosti v ohybu kg/cm ²	5000-8000	1000-2500	-
odolnost mrazu	-40 až -60	-60 až -70	-60
teplota měknutí	nad 152	108 -115	110 - 130
součinitel objemové roztažnosti v intervalu 0-50°C 1/°C	-	0,0062 až 0,00067	0,0006
součinitel objemové roztažnosti v intervalu 50 až 100°C 1/°C	-	0,00156 až 0,00165	-
součinitel délkové roztažnosti v intervalu 0 až 50°C 1/°C	-	21-22.10 ⁻⁵	20.10 ⁻⁵

0,0001 až 0,0003.

Polyetylen je výbornou isolační hmotou pro stavebnictví. Li-
je se nebo se zpracovává na kalandrech a vzniklé pásy se mohou
lisech svařovat. Bezešvé trubky a hadice menšího průměru se
tlačují.

bulka 15.

Vlastnost	Polyetylen		
	nízkotlaký	vysokotlaký	kabelový
Molekulová váha	100 000	18 000-30 000	směs se 35% polyisobutylenu
stupeň krystalizace	95%	55-70%	-
měrná váha	0,94	0,92	0,921
objemová váha granulí	500	500	500-550
pevnost v tahu kg/cm ²	200-230	70-140	65-75
pevnost v ohybu kg/cm ²	200-380	120-170	75
tažnost %	200-350	150-600	300-450
modul pružnosti v ohybu kg/cm ²	5000-8000	1000-2500	-
odolnost mrazu	-40 až -60	-60 až -70	-60
teplota měknutí	nad 152	108-115	110-130
součinitel objemové roztažnosti v intervalu 0-50°C 1/°C	-	0,0062 až 0,0067	0,0006
součinitel objemové roztažnosti v intervalu 50 až 100°C 1/°C	-	0,00156 až 0,00165	-
součinitel délkové roztažnosti v intervalu 0 až 50°C 1/°C	-	21-22.10 ⁻⁵	20.10 ⁻⁵

je 0,0001 až 0,0003.

Polyetylen je výbornou isolační hmotou pro stavebnictví. Lisuje se nebo se zpracovává na kalandrech a vzniklé pásy se mohou v lisech svařovat. Bezešvé trubky a hadice menšího průměru se vytlačují.

Tabulka 15.

Vlastnost	Polyetylen		
	nízkotlaký	vysokotlaký	kabelový
Molekulová váha	100 000	18 000-30 000	směs se 35% polyisobutylenu
stupeň krystalisace	95%	55-70%	-
měrná váha	0,94	0,92	0,921
objemová váha granuli	500	500	500-550
pevnost v tahu kg/cm^2	200-230	70-140	65-75
pevnost v ohybu kg/cm^2	200-380	120-170	75
tažnost %	200-350	150-600	300-450
modul pružnosti v ohybu kg/cm^2	5000-8000	1000-2500	-
odolnost mrazu	-40 až -60	-60 až -70	-60
teplota měknutí	nad 152	108-115	110-130
součinitel objemové roztažnosti v intervalu 0-50°C $1/^\circ\text{C}$	-	0,0002 až 0,00067	0,0006
součinitel objemové roztažnosti v intervalu 50 až 100°C $1/^\circ\text{C}$	-	0,00156 až 0,00165	-
součinitel délkové roztažnosti v intervalu 0 až 50°C $1/^\circ\text{C}$	-	21-22.10 ⁻⁵	20.10 ⁻⁵

Z chemikálií nepůsobí na polyetyleny kyselina sírová do 40°C, kyselina dusičná 65%ní do 20°C, kyselina solná koncentrovaná i zředěná, louhy koncentrované i zředěné, roztoky solí, voda. V organických rozpouštědlech, uhlovodících, esteroch a ketonech při teplotě nad 50°C botná.

4.2. Polyisobutylene

Plastických hmot na základě polyisobutylenu se v technické praxi začíná hodně používat, zejména jako náhražek kaučuku. Připravují se polymerací isobutylenu. Podle stupně polymerace vznikají buď olejové nebo plastické nebo tuhé hmoty. Olejovité hmoty mají molekulovou váhu asi 3000, plastické asi 15000. Při polymeraci za teploty 80°C však vznikne bezbarvá hmota podobná kaučuku, která má molekulovou váhu až 300 000. Právě tyto výrobky umožnily širokou použitelnost polyisobutylenu.

Vysoké polymery se zpracovávají podobně jako kaučuk. Aby hmota přijala plnidla, hněte se mezi válci při teplotě asi 140°C. Jakmile se začne lepit na válců, sniží se teplota na 100°C. Jako plnidla se používá hlavně saze a tuhy a jako mazadlo se přidává parafin a polyetylen.

Polyisobutylene má neobyčejnou schopnost přijímat velká množství plnidel, někdy až 90%. Některá plnidla, např. saze, mají zároveň funkci ztužovačů. Mnohé výrobky z polyisobutylenu velké molekulové váhy mohou nahradit kaučuk. Zpracovávají se však při mnohem vyšší teplotě. Polyisobutylene se též mísí s kaučukem, hlavně s Buno S. Tím se značně zvýší jeho dielektrické vlastnosti a odolnost proti vlhkosti. Takových směsí se používá k izolaci kabelů. Má sice menší pevnost než kaučuk, ale je mnohem odolnější proti stárnutí.

Jindy se polyisobutylene mísí s polystyrenem, čímž se ještě zvýší jeho stálost za nízkých teplot a odolnost proti vodě a vod-

ni páře.

Polyisobutylem, pokud neobsahuje plnidla, je hořlavý. Bez plnidel se světlem částečně depolymeruje. Vyšší polymery jsou pružné a zachovávají si tuto vlastnost za teploty od -80 až do +180°C. Protože to jsou nasycené uhlovodíky, nedají se vulkanisovat. Proto se kopolymerují někdy s malým množstvím isoprenu. Vzniklý butylový kaučuk lze vulkanisovat. Dělají se z něho duše pro pneumatiky.

Polyisobutylem je bez zápachu a bez chuti a zdravotně je nezávadný. Je naprosto stálý vůči zředěným i koncentrovaným alkaliím a kyselinám včetně kyseliny solné, sírové, fosforečné, octové, dokonce proti kyselině solné a louhům je stálý i při bodu varu. Podobně na polyisobutylem nepůsobí ani oxidační činidla, jako jsou peroxydy, dvojchromany atd. V nižších esterech a ketonech je nerozpustný. V organických rozpouštědlech, např. v benzenu, v chlorovaných uhlovodících, v benzínu a v některých vyšších esterech se rozpouští. V olejích botná. Polyisobutylem je výborný vodonepropustný materiál. To umožňuje používat ho jako izolaci proti vlhkosti a vodě (nátěry, folie). Tyto hmoty jsou známy pod označením Oppanoly.

Tabulka 16.

Vlastnost	Polyisobutylem	Směs polyisobutylenu s polystyrenem
Měrná váha t/m ³	0,91-0,93	0,93
Pevnost v tahu /kg/cm ²	15-60	35
Protažení %	100-1000	820-1000
Zůstatek protažení po 24 hodinách %	4	4
zachovává pružnost do	-78°C	-

3. Polyvinylchlorid

Polyvinylchloridové plastické hmoty jsou jedny z nejrozšířenějších. Jsou termoplastické a vynikají dobrou chemickou odolností. Jsou fyziologicky nezávadné a vlivem velkého obsahu chloru jsou nehořlavé. Vyrábějí se polymerací vinylchloridu (nebo jeho kopolymerací s estery nenasycených kyselin nebo s akrylonitrilem a vinylidenchloridem).

Polyvinylchlorid je jemný bílý prášek, který je nerozpustný ve vodě, v alkoholu i v benzínu. V některých aromatických uhlovodících botná a v esterech, ketonech a chlorovaných uhlovodících se špatně rozpouští. Při teplotě nad 80°C měkne. Za teplot nad 200°C se čistý polyvinylchlorid částečně degraduje, přičemž se uvolňuje chlorovodík. Degradace je zvláště patrná za teplot nad 400°C; pak se též na vzduchu oxypuje a za působení světla může dojít i ke tvorbě křížených vazeb. Proto se polyvinylchloridu přidávají stabilizátory, nejčastěji sloučeniny olova (kolejtu, zásaditých uhličitanů, síranů, stearátu a ftalátu olovnatého), ale také stabilizátory vápenaté, barnaté, kadennaté a sloučenin čtyřmocného cínu. Podle způsobu polymerace dostaneme polymer různého polymeračního stupně a různých vlastností. Tyto vlastnosti, hlavně mechanické, se ještě upravují změkčovadly a plnidly. Nižších polymerů nebo kopolymerů v roztoku nebo v emulzi se používá též pro nátěry.

Velmi hodnotné výrobky se získají kopolymerací vinylchloridu s estery různých kyselin, hlavně s estery kyseliny akrylové a acetylacetátem. Tím se použitelnost polyvinylchloridu značně rozšiřuje a získá se různě tvrdá rohovitá nebo (s přísadou změkčovadel) ohebná a měkká hmota. Které vlastnosti polyvinylchloridu jsou v tabulce 17.

ni páře.

Polyisobutylen, pokud neobsahuje plnidla, je hořlavý. Bez plnidel se světlem částečně depolymeruje. Vyšší polymery jsou pružné a zachovávají si tuto vlastnost za teploty od -80 až do +180°C. Protože to jsou nasycené uhlovodíky, nedají se vulkanisovat. Proto se kopolymerují někdy s malým množstvím isoprenu. Vzniklý butylový kaučuk lze vulkanisovat. Dělají se z něho duše pro pneumatiky.

Polyisobutylen je bez zápachu a bez chuti a zdravotně je nezávadný. Je naprosto stálý vůči zředěným i koncentrovaným alkaliím a kyselinám včetně kyseliny solné, sírové, fosforečné, octové, dokonce proti kyselině solné a louhům je stálý i při bodu varu. Podobně na polyisobutylen nepůsobí ani oxidační činidla, jako jsou peroxydy, dvojchromany atd. V nižších esterech a ketonech je nerozpustný. V organických rozpouštědlech, např. v benzenu, v chlorovaných uhlovodících, v benzínu a v některých vyšších esterech se rozpouští. V olejích botná. Polyisobutylen je výborný vodonepropustný materiál. To umožňuje používat ho jako izolace proti vlhkosti a vodě (nátěry, folie). Tyto hmoty jsou známe pod označením Oppanoly.

Tabulka 16.

Vlastnost	Polyisobutylen	Směs polyisobutylenu s polystyrenem
Měrná váha t/m ³	0,91-0,93	0,93
Pevnost v tahu /kg/cm ²	15-60	35
Protažení %	100-1000	820-1000
Zůstatek protažení po 24 hodinách %	4	4
zachovává pružnost do	-78°C	-

3. Polyvinylchlorid

Polyvinylchloridové plastické hmoty jsou jedny z nejrozšířenějších. Jsou termoplastické a vynikají dobrou chemickou odolností. Jsou fyziologicky nezávadné a vlivem velkého obsahu chloru jsou nehořlavé. Vyrábějí se polymerací vinylchloridu (nebo jeho kopolymerací s estery nenasycených kyselin nebo s akrylonitrilem (nebo s vinylidenchloridem)).

Polyvinylchlorid je jemný bílý prášek, který je nerozpustný ve vodě, v alkoholu i v benzínu. V některých aromatických uhlovodících botná a v esterech, ketonech a chlorovaných uhlovodících se špatně rozpouští. Při teplotě nad 80°C měkne. Za teplot nad 200°C se čistý polyvinylchlorid částečně degraduje, přičemž se uvolňuje chlorovodík. Degradace je zvláště patrná za teplot nad 400°C; pak se též na vzduchu oxyduje a za působení světla může dojít i ke tvorbě křížených vazeb. Proto se k polyvinylchloridu přidávají stabilizátory, nejčastěji sloučeniny olova (klejtu, zásaditých uhličitanů, síranů, stearátu a ftalátu olovnatého), ale také stabilizátory vápenaté, barnaté, kadennaté a sloučenin čtyřmocného cínu. Podle způsobu polymerace dostaneme polymer různého polymeračního stupně a různých vlastností. Tyto vlastnosti, hlavně mechanické, se ještě upravují změkčovadly a plnidly. Nižších polymerů nebo kopolymerů v roztoku nebo v emulzi se používá též jako nátěry.

Velmi hodnotné výrobky se získají kopolymerací vinylchloridu s estery různých kyselin, hlavně s estery kyseliny akrylové a vinylacetátem. Tím se použitelnost polyvinylchloridu značně rozšiřuje a získá se různě tvrdá rohovitá nebo (s přísadou změkčovadel) ohebná a měkká hmota.

Teré vlastnosti polyvinylchloridu jsou v tabulce 17.

Polyvinylchlorid má dosti velkou odolnost proti slabým alkaliím. Silné alkalie, např. hydroxyd sodný, jej částečně degradiují (dehydrochlorují). Dále je velmi odolný proti kyselinám, olejům, benzínu, alkoholu.

Z PVC se vyrábějí trubky, tyče, hadice, desky, folie a vlákna. Nahrazuje barevně kovy nebo vlákna a tkaniny, které odolávají kyselinám. Folie a desky jsou nejběžnější. Dále se z něho zhotovují nádoby na kyseliny, zředěné louhy a roztoky solí nebo se jím vykládají nádrže.

Tabulka 17.

Vlastnost	Polyvinylchlorid	Kopolymer s metakrylátem
Měrná váha t/m^3	1,38	1,34
Pevnost v tahu kg/cm^2	600	600
Pevnost v ohybu "	1100	1000
Pevnost v tlaku "	800-1600	
Pevnost v rázu $kgem/cm^2$	100	asi 300
Modul pružnosti kg/cm^2	30 000	--
Tažnost %	10 - 280	-
Maximální teplota použití $^{\circ}C$	65 - 104	-
Smrštění %	2 - 5	-

4.4. Polyvinylidenchlorid

Plastická hmota, jejíž hlavní podstatou je polyvinylidenchlorid je známá pod jménem Saran. Je to kopolymer 85-90% vinylidenchloridu s vinylchloridem. Hmota je velmi houževnatá a odolná proti opotřebování. Má vysokou teplotu měknutí ($180-200^{\circ}C$) a rozkládá se při teplotě $225^{\circ}C$. Jsou velmi stálé proti vodě a odolné proti alifatickým i aromatickým uhlovodíkům, esterům, ke-

nům a alkoholům. V cyklohexanonu a dioxanu botnají nebo měknou. Při obyčejné teplotě odolávají všem kyselinám a alkaliím s výjimkou koncentrovaného čpavku. Koncentrovaná kyselina sírová a louh sodný působí teprve po delší době nepatrnou změnu fyzikálních vlastností.

Hodí se pro zvlášť odolné obklady, které se mohou stříhat. Vyrábějí se z něj také trubky a tyče různého profilu.

5. Polyfluoretyleny

Jsou to nové plastické hmoty, nabývající stále většího významu. Vyrábějí se tak, že se chlor v příslušných etylenchloridech nahraňuje fluorem. Zpracovává se lisováním nebo stříkaním. Desky nebo folie se získávají válcováním nebo řezáním z bloku.

Polytetrafluoretylen je ze všech plastických hmot nejstálější a vysokých teplot a je velmi odolný proti většině organických rozpouštědel. Anorganické a organické kyseliny, louhy ani oxidační činidla na něj nepůsobí vůbec a přitom i jeho mechanické a elektrické vlastnosti jsou velmi dobré. Prodává se pod názvem Teflon nebo Fluon. Dá se použít pro nejnáročnější obklady, izolace a těsnění, jeho cena je však dosud značná. Některé jeho vlastnosti jsou v tabulce 18.

Tabulka 18.

Měrná váha t/m^3	2,1 až 2,3
Pevnost v tahu kg/cm^2	140 - 315
Pevnost v ohybu "	140
Pevnost v tahu orientované folie kg/cm^2	až 1050
Tažnost %	300 - 400

Polyvinylchlorid má dosti velkou odolnost proti slabým alkalickým. Silné alkalie, např. hydroxyd sodný, jej částečně degradují (dehydrochlorují). Dále je velmi odolný proti kyselinám, olejům, benzínu, alkoholu.

Z PVC se vyrábějí trubky, tyče, hadice, desky, folie a vlákna. Nahrazuje barevné kovy nebo vlákna a tkaniny, které odolávají kyselinám. Folie a desky jsou nejběžnější. Dále se z něho zhotovují nádoby na kyseliny, zředěné louhy a roztoky solí nebo se jimi vykládají nádrže.

Tabulka 17.

Vlastnost	Polyvinylchlorid	Kopolymer s metakrylátén
Měrná váha t/m ³	1,38	1,34
Pevnost v tahu kg/cm ²	600	600
Pevnost v ohybu "	1100	1000
Pevnost v tlaku "	800-1600	
Pevnost v rázu kgcm/cm ²	100	asi 300
Modul pružnosti kg/cm ²	30 000	--
Tažnost %	10 - 280	-
Maximální teplota použití °C	65 - 104	-
Smrštění %	2 - 5	-

4.4. Polyvinylidenchlorid

Plastická hmota, jejíž hlavní podstatou je polyvinylidenchlorid je známá pod jménem Saran. Je to kopolymer 85-90% vinylidenchloridu s vinylchloridem. Hmota je velmi houževnatá a odolná proti opotřebování. Má vysokou teplotu měknutí (180-200°C) a rozkládá se při teplotě 225°C. Jsou velmi stálé proti vodě a odolné proti alifatickým i aromatickým uhlovodíkům, esterům,

tonům a alkoholům. V cyklohexanonu a dioxanu bobtnají nebo měknou. Při obyčejné teplotě odolávají všem kyselinám a alkáliím s výjimkou koncentrovaného čpavku. Koncentrovaná kyselina sírová a louh sodný způsobí teprve po delší době nepatrnou změnu fyzikálních vlastností.

Hodí se pro zvláště odolné obklady, které se mohou stříkat. Vyrábějí se z něj také trubky a tyče různého profilu.

4.5. Polyfluoretyleny

Jsou to nové plastické hmoty, nabývající stále většího významu. Vyrábějí se tak, že se chlor v příslušných etylenchloridech nahrazuje fluorem. Zpracovává se lisováním nebo stříkem. Desky nebo folie se získávají válcováním nebo řezáním z bloku.

Polytetrafluoretylen je ze všech plastických hmot nejstálější za vysokých teplot a je velmi odolný proti většině organických rozpouštědel. Anorganické a organické kyseliny, louhy ani oxidační činidla na něj nepůsobí vůbec a přitom i jeho mechanické a elektrické vlastnosti jsou velmi dobré. Prodává se pod názvem Teflon nebo Fluon. Dá se použít pro nejnáročnější obklady, izolace a těsnění, jeho cena je však dosud značná. Některé jeho vlastnosti jsou v tabulce 18.

Tabulka 18.

Měrná váha t/m ³	2,1 až 2,3
Pevnost v tahu kg/cm ²	140 - 315
Pevnost v ohybu "	140
Pevnost v tahu orientované folie kg/cm ²	až 1050
Tažnost %	300 - 400

4.6. Polypropylen

Ve srovnání s polyetylenem vyniká vyšší tepelnou odolností a lepšími mechanickými vlastnostmi (viz tab. 19).

Polypropylen patří k chemicky odolným plastickým hmotám. Neorganické kyseliny a alkalie nepůsobí na polypropylen do téměř 70°C. Rovněž odolává většině organických rozpustidel za normální teploty. Působením světla, tepla a vzdušného kyslíku polypropylen stárne. Polypropylen lze použít pro vodo- a plynonepropustné folie a také trubky pro zvýšené teploty.

Tabulka 19.

Měrná váha t/m ³	0,90 až 0,91
Pevnost v tahu kg/cm ²	více než 250
Pevnost v tlaku kg/cm ²	600 - 700
Modul pružnosti v tahu kg/cm ²	8 000 - 120 000
Tažnost %	100 - 400
Odolnost mrazu °C	-35
Teplota měknutí	více než 170
Rázová pevnost kgcm/cm ²	80 - 85

4.7. Polyamidy

Polyamidové pryskyřice se používají zejména jako folie pro dočasné zasklení a také pro výrobu laků a vodostálých lepidel. V poslední době se používají polyamidy pro zhotovení nafukovacích konstrukcí; polyamidová síť nebo tkanina je pokryta z obou stran polyamidovou folií. Jsou to vyhledávané pryskyřice všude kde záleží především na pevnosti v tahu, houževnatosti a pružnosti výrobku. Nejznámější ^{názvy} jsou nylon, silon, perlon, kapron. Některé vlastnosti uvádí další tabulka 20.

Tabulka 20.

Měrná váha t/m ³	1,14 až 1,15
Pevnost v tlaku kg/cm ²	700 - 800
Pevnost v tahu "	500 - 800
Pevnost v ohybu "	700 - 1000
Tažnost %	150 - 200
Modul pružnosti v tahu kg/cm ²	7000 - 10 500
Rázová pevnost kgcm/cm ²	160

4.8. Polyuretany

Podle svých chemických vlastností a chemické stavby jsou polyuretany blízké polyamidům (perlonu). Jsou více odolné vodě, méně na ně působí kyseliny a různá okysličovadla. K zředěným anorganickým i organickým kyselinám je stálý, v koncentrovaných kyselinách hlavně za tepla se rozpouští. Silně na polyuretany působí fenoly a kresoly. Proti účinku alkalií je odolný za studena i za tepla, dále odolává olejům a rozpouštědlům. Jeho měrná váha je 1,21 t/m³, pevnost v tahu 500 až 850 kg/cm², v tlaku 800-850 kg/cm², v ohybu 700 až 800 kg/cm², rázová pevnost 50 kgcm/cm², modul pružnosti v tahu 1,25 až 1,5.10⁴ kg/cm², koeficient lineární roztažnosti 10,6 až 13,5 .10⁻⁵.

Polyuretany používají se pro licí pryskyřice, vlákna a lepidla. Nejvíce se polyuretanové pryskyřice používají pro pěnovky, které se používají pro tepelné izolace obyčejných zdí, tepelné izolace trub a pod.

4.9. Polystyreny

Je to průhledná pryskyřice, velmi odolná proti vlhkosti, chemicky stálá a velkým elektrickým odporem s nízkou dielektrickou konstantou.

Mechanické a chemické vlastnosti polystyrenu jsou silně závislé na druhu použitého emulgátoru a iniciátoru a na celkovém pracovním postupu. Polystyreny jsou rozpustné v benzenu, toluenu, xylenu, v éterech, ketonech a v některých chlorovaných uhlovodících. V alkoholu jsou polystyreny nerozpustné, také minerální rostlinné oleje ani alkalie na ně nepůsobí. Polystyren se dá dobře stříkat, dále se lisuje, válcuje i lije. Polystyrenové pryskyřice mají nízkou teplotu tvrdnutí (od 70°C). Z polystyrenu se dělají obkladové barevné desky na stěny v nemocnicích, kuchyních, instalačních jádrech, pórovité desky pro tepelné a zvukové izolace, latexové barvy a laky, folie pro izolace proti vodě a jiným prostředím. Možno je také použít pro zasklení staveb. Jeho vlastnosti jsou v tabulce 21.

Tabulka 21.

Vlastnost	Polystyren	
	blokový	emulsní
Měrná váha t/m ³	1,05	1,05
Pevnost v tahu kg/cm ²	300 - 500	350 - 400
Pevnost v tlaku "	1000	1000
Pevnost v ohybu "	800	900
Rázová pevnost kgcm/cm ²	12 - 15	3,5 - 15
Modul pružnosti v tahu kg/cm ²	12 000 - 32 000	12 000 - 32 000
Tažnost %	0,4 - 0,7	1,5 - 35
Koeficient lineární roztažnosti	6-10.10 ⁻⁵	6-10.10 ⁻⁵
Maximální teplota použití °C	60-71	60 - 71
Smrštění %	2 - 8	2 - 8

4.10. Polymery kyseliny akrylové a metakrylové

Do této skupiny plastických hmot patří mnoho různých výrobků, které pod označením Umaplex, Plexiglas, Perspex atd., získaly značnou oblibu. Většinou jsou to výrobky průhledné jako sklo a na vzduchu naprosto stálé. Polymery esterů kyseliny akrylové jsou měkčí než obdobné estery kyseliny metakrylové. Značný vliv na vlastnosti hmoty má stupeň polymerace. Estery s nižším polymeračním stupněm jsou za tepla plastické, kaučukovité, někdy dokonce tekuté. Největší technický význam mají polymery metylesteru kyseliny metakrylové a kopolymery, jejichž hlavní složkou je právě tento ester.

Polymerní metakrylestery jsou stálé proti alkáliím, kdežto polymerní akrylestery se naopak snadno zmydelňují. Při teplotě 350°C se zcela rozloží na původní monomer.

Mechanické vlastnosti polymethylmetakrylátu jsou značně závislé na způsobu přípravy a čistotě monomeru. Výrobky vysokopolymerované se dají snadno obrábět asi jako tvrdé dřevo. Proti křemičitému sklu propouští prakticky všechno světlo i ultrafialové paprsky, má ovšem některé nevýhody, především nízký bod měknutí, špatnou odolnost proti organickým rozpouštědlům a malou tvrdost, která způsobuje, že se povrch plexiskla snadno porušuje. Zahřátím se dá libovolně formovat. Výhodou proti křemičitému sklu je, že organické sklo je pevnější a mnohem ohebnější a rozbije-li se, střepiny nemají ostré hrany. Jeho koeficient délkové roztažnosti je větší než u křemičitého skla a při zasklívání se tabule musí zasazovat do rámu tvaru U a těsnit plstí, aby zbyl dostatek místa pro roztažení.

Polymetakryláty se často mísí s jinými plastickými hmotami obdobných vlastností např. polyvinylchloridem. Ve stavebnictví se používá komposic na osnově metylmetakrylátu nebo kopolymerů

akrylátů ve značné míře pro zhotovení tmelů, stěrkových podlah atd. Vodné disperse polyakrylesterů jsou vhodným isolačním prostředkem proti vlhkosti zejména pro cihlové zdi a beton. Dále se používá ve stavebnictví polymethylmetakrylát pro zasklení různých budov buď ve tvaru listů nebo desek. Z měkkých akrylových polymerů, které vynikají vysokou odolností olejem a atmosférickým vlivům, je možno zhotovovat isolační povlaky proti vodě.

Technicky významným polymerem této skupiny je polyakrylonitril. Nyní se z něho vyrábí velmi hodnotné vlákno zvané Orlon. V tabulce 22 jsou některé mechanické vlastnosti polymethylmetakrylátu.

Tabulka 22.

Vlastnost	Flexiglas	
	vstříkovaný	lisované druhy
Měrná váha t/m ³	1,18	1,18
Pevnost v ohybu kg/cm ²	950-1200	650 (při 20°C)
Pevnost v tlaku "	1200	1200 "
Pevnost v tahu "	700	600 "
Pevnost v rázu kgcm/cm ²	15 - 20	6 - 10 "
Modul pružnosti kg/cm ²	19 000 - 28 000	

Polymethylmetakrylát je stálý v kyselině sírové do 40%, kyselině solné do 35%, kyselině dusičné do 25%, kyselině octové 20%, kyselině vinné do 20%, kyselině citronové do 20%, kyselině mléčné do 20%, kyselině máselné do 5%, v ethylalkoholu do 40%, benzenu, terpentínové silici a minerálních a rostlinných olejích. Ze zásad odolává hydroxydu sodnému, draselnému, amonnému a uhlíkatému sodnému. Botná v eteru a rozpouští se v benzenu, chloridu uhličitém, esterech, ketonech, (chloroform).

4.11. Fenolformaldehydové pryskyřice

Fenolové neboli fenolické pryskyřice tvoří velmi důležitou skupinu plastických hmot. Velké množství výrobků denní potřeby se vyrábí z fenolformaldehydových nebo kresolformaldehydových polykondensátů. Výrobky mají dobré mechanické vlastnosti a jsou levné, suroviny jsou kryty z domácích zdrojů. Některé vlastnosti jsou obsaženy v tabulce 23.

Tabulka 23.

Měrná váha t/m ³	1,25 - 130
Pevnost v tahu kg/cm ²	490 - 560
Pevnost v ohybu "	840 - 1200
Pevnost v tlaku "	700 - 2100
Tažnost %	1,5
Modul pružnosti kg/cm ²	50 000 - 70 000
Rázová pevnost kgcm/cm ²	0,75 - 1,16
Součinitel délkové roztažnosti 1/°C	2,5 - 6 · 10 ⁻⁵

Na kovy nepůsobí, je temné barvy. Ve stavebnictví se používá jako pojiva pro dřevovláknité desky, plastmalty a plastbetony, nátěry. Fenolové hmoty se svou chemickou odolností liší podle toho, z kterých surovin a jakým postupem se připravují. Jsou typy odolné proti kyselinám, proti alkaliím, proti kyselině fluorovodíkové aj. (Faolit, Haveg, Asplit, Balit, Arpanit).

4.12. Močovinoformaldehydové (karbamidové) pryskyřice

Některými vlastnostmi se podobají fenoplastům. Liší se tím, že tvrditelné karbamidové kondensáty vznikají v kyselém prostředí. Dnes se omezuje výroba jen na některé speciální účely. Jsou čiré, bezbarvé, ale mají velké vnitřní pnutí, které

po čase způsobuje vznik trhlin a nakonec může vést k rozpadu vytvrzeného předmětu. Použitelné jsou jen lisované prášky, plněné hlavně celulosovými vlákny nebo bavlněným ~~vláknem~~. Důležitou posici si udržely karbamidy ve výrobě lepidel. Některé vlastnosti obsahuje další tabulka 24.

Tabulka 24.

Vlastnost	Pryskyřice	
	močovinoformaldehydová	melaminoformaldehydová
Měrná váha t/m ³	1,4-1,5	1,4-1,55
Pevnost v tahu kg/cm ²	560-920	560-1200
Pevnost v tlaku "	1700-2100	1900-2600
Pevnost v ohybu "	700-1200	850-1400
Tažnost %	1,8	-
Modul pružnosti kg/cm ²	60 000	70 000
Rázová pevnost kgcm/mm ²	0,6-0,7	0,5-0,75
Koeficient délkové roztažnosti 1/°C	4-6 · 10 ⁻⁵	

Chemická odolnost této i ostatních hmot plyne z obrázků 24 a 25.

4.13. Polyesterové pryskyřice

Základem těchto pryskyřic jsou polyesterové vzniklé polykondensací polykarbonových nasycených nebo nenasycených kyselin a vicemocných alifatických alkoholů. Největší technický význam mají modifikované pryskyřice, které vznikají jednak polykondensací, jednak polymerací alkydového základu s pryskyřičnými kyselinami, pryskyřicemi, s nevysýchavými a vysýchavými pleji a pak se sírou.

Důležité jsou a vpraxi se nejčastěji používají tzv. nenasycené polyesterové. Časté je jejich použití i v kombinaci s mo-

nomery vinylových sloučenin. Při tvrzení těchto pryskyřic není zapotřebí tlaku ani vyšší teploty.

Vlastnosti vytvrzovaných polyesterových pryskyřic mohou být velmi rozmanité od tvrdých až tuhých, až po měkké a ohebné hmoty. Záleží na jejich složení. Rozpouštějí se v metylenchloridu, aromatických uhlovodících, esterech a ketonech. Chemicky odolávají vodným roztokům organických kyselin a krátkodobě i anorganickým kyselinám (také dusičné a fluorovodíkové), vodným roztokům oxidačních činidel, alifatickým uhlovodíkům, vyšším alkoholům a syntetickým i rostlinným olejům a tukům. Stálost proti účinku roztoků slabých zásad je dobrá, nedosta- tečná je však odolnost proti silným alkaliím (NaOH, KOH). Amoniak a aminy polykarbonáty napadají a většina organických rozpouštědel působí jejich botnání. Viz také obr. 24 a 25. Nejdůležitější jejich použití je jako pojivo skelných laminátů nebo plastbetonů. Některé vlastnosti jsou dále uvedeny v ta- bulce 25.

Tabulka 25.

Měrná váha t/m ³	1,20 - 1,25
Pevnost v tahu kg/cm ²	400 - 750
Pevnost v tlaku "	1100 - 1900
Pevnost v ohybu "	700 - 1100
Rázová pevnost kgcm/cm ²	2 - 15
Modul pružnosti kg/cm ²	33 000 - 40 000
Součinitel délkové roztažnosti 1/°C	13.1 16 · 10 ⁻⁵

4.14. Epoxydové pryskyřice

Epoxydové pryskyřice se vyznačují některými specifickými vlastnostmi, zejména vynikají velkou přilnavostí ke kovům a jiným materiálům. Připravují se kondensací epichlorhydrinu s alkyldioly nebo aryldioly v přítomnosti anorganických nebo organických zásad, ková nebo anhydridů kyselin. Mechanické, a chemické vlastnosti konečného produktu jsou závislé na volbě tvrdidel. Odolávají vodě i mnoha organickým rozpouštědlům, např. benzínu, benzenu, metylalkoholu. Ve stavebnictví mají široké pole použití od nátěrů, stěrkových podlah, lepení různých materiálů až k plastbetonům nebo skelným laminátům. Některé vlastnosti epoxydových pryskyřic jsou v tabulce 26.

Tabulka 26.

Měrná váha t/m^3	1,15 - 1,3
Pevnost v tahu kg/cm^2	550 - 800
Pevnost v ohybu "	800 - 1300
Pevnost v tlaku "	1400 - 1600
Tažnost %	2 - 4
Rázová pevnost kg/cm^2	10 - 40
Modul pružnosti kg/cm^2	12 000 - 40 000
Součinitel délkové roztažnosti $1/°C$	$8 - 14 \cdot 10^{-5}$

Chemická odolnost těchto pryskyřic plyne z obrázků 24 a 25.

4.15. Furanové pryskyřice

Z furanových pryskyřic jsou nejdůležitější furylalkoholové. Vyznačují se velkou odolností proti kyselinám, alkáliím, vodě i rozpouštědlům. Odolávají i zvýšené teplotě. Jsou tvrditelné za normálních i zvýšených teplot kyselinými katalysátory. Pro

jejich výrobu je u nás dostatek surovin. Jsou čemé a hodí se ve stavebnictví zejména pro antikorozi, nátěry, tmely, stěrkové podlahy, plastbetony a lamináty. Chemická odolnost je také uvedena v obr. 24 a 25.

Mechanické vlastnosti furanových pryskyřic jsou srovnatelné a vlastnostmi polyesterových nebo epoxydových pryskyřic, po stránce chemických vlastností je (a i jiné termosetické pryskyřice) značně převyšují.

Obr. 24.

Chemická odolnost některých termoplastů

Obr. 25.

Chemická odolnost některých termosetů.

5. Pryže

Pryže vznikají vulkanisací kaučuků ať přírodních nebo syntetických, s různými přísadami.

5.1. Přírodní kaučuky

Přírodní kaučuk je obsažen ve šťávách různých tropických rostlin a stromů. Po nařiznutí kůry těchto stromů vytéká mlékovitá kapalina zvaná latex, obsahující 40 - 60% vlastního kaučuku.

Základní stavební jednotka přírodního kaučuku je uhlovodík isopren $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{C} - \text{CH} = \text{CH}_2 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]$, který se v molekule mnohokrát

opakuje. Latex se zpracovává dvojím způsobem: a) buď se zpracovává na surový kaučuk, získaný koagulací latexu (prováděno na plantážích)

b) nebo se latex na plantážích jen stabilizuje a zpracovává se v závodech v blízkosti plantáží.

ad a) Surový kaučuk se dále zpracovává mletím (lámáním), jehož účelem je plastifikace kaučuku, při níž dochází působením vzdušného kyslíku k částečnému odbourání dlouhých řetězových makromolekul. Bez této plastifikace by se nedal smísit kaučuk s přísadami.

Další operací je míšení (hnětení) s různými plnivými a ztužovacími (saze, uhličitan hořečnatý), změkčovadly, zajišťujícími vláčnost pryže po vulkanisaci, antioxydanty, zabráňujícími oxidaci pryže (fenyl- β -naftylamin) a konečně vulkanisačními činidly (síra) a urychlovači vulkanisace (organické dusíkaté a sírné sloučeniny). Vulkanisace probíhá za teplot 115-150°C; lineární makromolekuly kaučuku se při ní spojí atomy síry za vzniku síťovité obří molekuly. Vzniklá pryž se již nerozpouští v benzenu, benzinu a jiných rozpouštědlech, pouze v nich botná.

ad b) Přímé zpracování zahuštěného (bezvodého) latexu záleží v míšení s plnivými, akcelerátory atd. a vulkanisaci při výrobě tenkých fólií, rukavic, potahů a impregnačních laků.

Kaučuk je možno též modifikovat k dosažení lepších některých vlastností.

Z nejdůležitějších modifikací je cyklizace (hnětení) při zvýšené teplotě za přítomnosti katalyzátoru např. kyseliny sírové. Získaný výrobek - cyklokaučuk se používá hlavně ke gumování různých kovových předmětů a pod.

Adicí chloru na molekulu kaučuku získá se další důležitá modifikace - chlorkaučuk. Je stálý při zahřívání a má vysokou odolnost k různým agresivním prostředím.

Adicí chlorovodíku na molekulu kaučuku vzniká hydrokaučuk, který je rovněž dobře odolný kyselinám, louhům, vodě, olejům a je stálý až do 130°C.

Oxidací makromolekuly kaučuku vzniká oxykaučuk, přičemž nastává zpravidla i částečná depolymerisace. Lineární makromolekuly se zkracují a do koncových skupin takto zmenšených makromolekul se váže kyslík. Důležitou vlastností oxykaučuku je, že se dá zvýšenou teplotou a za přístupu vzduchu tvrdit. Vzniknou houževnaté, tvrdé, nerozpustné pryžovité hmoty. Netvrzené oxykaučuky se uplatňují jako přísady do laků, zvyšujících jejich odolnost organickým rozpouštědly, kyselinám a alkáliím a také vyšším teplotám.

Některé vlastnosti přírodních kaučuků jsou uvedeny v tabulce 22.

Vlastnost	Přirodní kaučuk	vulkanisovaný neplněný	plněný saze 25% zrnčovádko 10%	Chlorkaučuk	Hydrokaučuk (5-10% zrnčovádko 1a)
Měrná váha t/m ³	0,96	1,13	1,16	1,64	1,16
Pevnost v tahu kg/cm ²	275-350	275-350	200-300	250-350	200-300
Tažnost %	670-850	550-650	1-3,6	1-3,6	50-200
Modul pružnosti v tahu kg/cm ²	při prodloužení 300% 11-24	700-2400			
Tepečná vodivost cal/sec. cm °C	3,4-3,6.10 ⁻⁴	4,2-4,6.10 ⁻⁴	2,6-3.10 ⁻⁴		
Součinitel délkové roztažnosti 1/°C	16-19.10 ⁻⁵	12-15.10 ⁻⁵	12-13.10 ⁻⁵		

Vliv organických rozpouštědel:

O - žádný	většinou 0	většinou 0	alkoholy, ketony, estery, aromatické uhlov. ++	alkoholy, ketony, estery, benzen ++
+ - částečný	benzen, oleje ++			
++ - značný				

Chemická odolnost při 20°C:

Zředěným kyselinám	dobrá	dobrá	velmi dobrá	dobrá
Koncentrovaným kyselinám	malá	malá	velmi dobrá	malá
Zředěným zásadám	dobrá	dobrá	velmi dobrá	dobrá
Koncentrovaným zásadám	dobrá	dobrá	velmi dobrá	malá

2. Syntetické kaučuky

S rozvojem techniky se kaučuk stává stále více nepostradatelnou surovinou, takže přírodní zdroje již nepostačují. Bylo proto vypracováno mnoho postupů na výrobu kaučuku syntetického, jež v mnohých směrech předčil kaučuky přírodní. Dosud se ale nepodařilo vyrobit syntetický kaučuk čistě isoprenový s vlastnostmi přírodního kaučuku. Umělý polyisopren má (mnohem horší vlastnosti než přírodní kaučuk.

První syntetický kaučuk byl vyráběn v Německu za prvé světové války: byl to metylkaučuk, vyráběný z dimetylbutadienu. Nyní se používá jako výchozí látky hlavně butadienu (vyráběný z uhlí, ropy a plodin bohatých na šrob) nebo jeho derivátů substituovaných v poloze 2, např. 2 - chlorbutadien (chlorpren $\text{CH}_2=\text{C}(\text{Cl})-\text{CH}=\text{CH}_2$)

a v menším množství 2 - metylbutadienu (isopren). Hodnotnou kaučuku podobnou hmotu vytvářejí i polymery polyetylentetrasulfidu $(\text{C}_2\text{H}_4\text{S}_4)_n$, které vznikají působením etylenchloridu $\text{Cl}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{Cl}$ na natriumpolysulfid. Bylo prokázáno, že vedle butadienu a jeho homologů a derivátů lze i polymeraci jiných sloučenin připravit různé pružné hmoty: jsou to např. akrylestery, polyisobutylony, polystyreny, silikonové kaučuky aj.

Syntetické kaučuky můžeme tak za dnešního stavu rozdělit do šesti skupin: 1. polymery a kopolymery butadienu

2. polymery chloroprenu

3. tioplasty (polysulfidové kaučuky)

4. butylkaučuk (z isobutylenu)

5. silikonové kaučuky

6. speciální kaučuky vzniklé úpravou plastických hmot.

Podle tohoto rozdělení je v tab. 23 uvedeno složení, obchodní značení a charakteristické vlastnosti nejčastěji vyráběných kaučuků.

5.2. Syntetické kaučuky

S rozvojem techniky se kaučuk stává stále více nepostradatelnou surovinou, takže přírodní zdroje již nepostačují. Bylo proto vypracováno mnoho postupů na výrobu kaučuku syntetického, jež v mnohých směrech předčil kaučuky přírodní. Dosud se ale nepodařilo vyrobit syntetický kaučuk čistě isoprenový s vlastnostmi přírodního kaučuku. Umělý polyisopren má mnohem horší vlastnosti než přírodní kaučuk.

První syntetický kaučuk byl vyráběn v Německu za prvé světové války: byl to metylkaučuk, vyráběný z dimetylbutadienu. Nyní se používá jako výchozí látky hlavně butadienu (vyráběný z uhlí, ro-
py a plodin bohatých na šrob) nebo jeho derivátů substituovaných v poloze 2, např. 2 - chlorbutadien (chlorpren $\text{-CH}_2\text{-C}(\text{Cl})\text{-CH=CH}_2$) a v menším množství 2 - metylbutadienu (isopren). Hodnotnou, kaučuku podobnou hmotu vytvářejí i polymery polyetylentetrasulfidu $(\text{C}_2\text{H}_4\text{S}_4)_n$, které vznikají působením etylenchloridu $\text{Cl-CH}_2\text{-CH}_2\text{Cl}$ na natriumpolysulfid. Bylo prokázáno, že vedle butadienu a jeho homologů a derivátů lze i polymerací jiných sloučenin připravit různé pružné hmoty: jsou to např. akrylestery, polyisobutyleny, polystyreny, silikonové kaučuky aj.

Syntetické kaučuky můžeme tak za dnešního stavu rozdělit do šesti skupin:

1. polymery a kopolymery butadienu
2. polymery chloroprenu
3. tioplasty (polysulfidové kaučuky)
4. butylkaučuk (z isobutylenu)
5. silikonové kaučuky
6. speciální kaučuky vzniklé úpravou plastických hmot.

Podle tohoto rozdělení je v tab. 23 uvedeno složení, obchodní označení a charakteristické vlastnosti nejčastěji vyráběných kaučuků.

koncentrovaným kyselým
 nám
 Zředěným zásadám
 Koncentrovaným zásadám
 malá
 velmi dobrá
 velmi dobrá
 malá
 dobrá
 velmi dobrá
 malá
 dobrá
 velmi dobrá
 malá
 dobrá
 velmi dobrá

Monomer a strukturální vzorec	Struktura polymeru	Schopnost vulkanizace	Užívaný nebo obchodní název	Nejdůležitější vlastnosti
<u>1. Polymery butadienové</u>				
1,3-butadien (divinyl) $CH_2 = CH - CH = CH_2$	$\left[-CH_2 - CH = CH - CH_2 \right]_x$	ano	Polybutadien, Buna 85, Buna 115, SK A, SK B, Ker	Produkty vyráběné staršími polymerizačními metodami mají dnes malý význam. Hodnotný polybutadien se získá nízkotepeelnou polymerací - PB kaučuk
2,3-dimetyl-1,3 butadien $CH_2 = C - C = CH_2$ CH ₃ CH ₃	$\left[-CH_2 - C = C - CH_2 - \right]_x$ CH ₃ CH ₃	ano	Metylkaučuk B (polymer. sodíkem) Metylkaučuk H (polymer. za studena) Metylkaučuk W (polymer. za horka)	Dá se dobře tvrdit. Náhrada za ebonit. Malá odolnost proti nízkým teplotám. Méně význačné vlastnosti. Použitelný jen jako náhražka.
<u>2. Polymery chlorprenové</u>				
2-chlor-1,3-butadien (chloropren) $CH_2 = C - CH = CH_2$ Cl	$\left[-CH_2 - C = CH - CH_2 - \right]_x$ Cl	ano	Polychloropren, Svitpren, Neopren, Dupren, Sovpren	Nebotná v benzínu. Stálý proti minerálním olejům, botná v chlorovaných uhlovodících
<u>Tioplasty (polysulfidové kaučuky)</u>				
Etylendichlorid + Na-polysulfid ClCH ₂ -CH ₂ -Cl + Na-polysulfidy	$\left[-CH - CH - S - S - CH - CH - \right]_x$ S S	ano	Tiokol A, Etanit, Resinit, Perduren, Vulcapas	Méně pružný, odolný proti chemikáliím a organickým rozpouštědlům, pro vibrační namáhání se nehodí
2,2'-dichlordietyler + Na-polysulfid ClCH ₂ -CH ₂ -O-CH ₂ -CH ₂ -Cl	$\left[-CH - CH - O - CH - CH - S - S - \right]_x$ S S S	ano	Tiokol B, GR-P	Trochu pružnější než Tiokol A, jinak vlastnosti přibližně stejné
<u>3. Kaučuky nevulkanisovatelné</u>				
a) Isobutylem $CH_2 = C - CH_3$ CH ₃	$\left[-CH_2 - C - CH_2 - C - \right]_x$ CH ₃ CH ₃	ne	Polyisobutylem, Vistanex, Oppanol B 50, B 200	Velmi pružný, odolný proti kyselinám, louhům, kyslíku a ozonu, výborné elektrické vlastnosti
b) Vinylchlorid $CH_2 = CH$ Cl	$\left[-CH_2 - CH - CH_2 - CH - \right]_x$ Cl Cl	ne	Polyvinylchlorid, Korogel, Koroseal, Igelit	Odolnost proti chemikáliím; proti organickým rozpouštědlům částečně stálý, poměrně málo pružný; ohebnost jen se změkčovadly

Tabulka 23 - pokračování

Monomer a strukturální vzorec	Struktura polymeru	Schopnost vulkanisace	Užívaný nebo obchodní název
<p>c) Vinylacetát, zhydrolysovaný při polymeračním pochodu</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{OH} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C} = \text{O} + \text{H}_2\text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\left[-\text{CH}_2 - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \right]_x$ <p>Polyvinylalkohol</p>	ne	Resistoflex
5. Směsné polymery (kopolymery)			
<p>a) 1,3-butadien + styren</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2 \\ + \text{CH} = \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\left[-\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} - \right]_x$	ano	Buna S, Buna SS (více styrenu) GR-S, Hycar OS, Gold-Rubber
<p>b) 1,3-butadien + akrylonitril</p> $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2 + \text{CH}_2 = \text{CH} \cdot \text{CN}$	$\left[-\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \underset{\text{CN}}{\text{CH}} - \right]_x$	ano	Perbunan, Perbunan extra (více akrylonitrilu), Perbunan SP (emulze), Hycar OR, Polysar N Chemigum, GR-N
<p>c) Isobutylen + isopren (2-metyl-1,3-butadien) (95-98%)</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{C} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \\ + \text{CH}_2 = \text{C} - \text{CH} = \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \quad (2-5\%)$	$\left[-\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} - \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \right]_x$	ano	Butyl, GR-I
6. Silikonové kaučuky (silikokaučuky)			
Silandioly	Siloxany	ano	Polysiloxany, Silico-kaučuk, Silastic
$\text{HO} - \underset{\text{R}}{\overset{\text{R}}{\text{Si}}} - \text{OH}$	$\left[-\text{O} - \underset{\text{R}}{\overset{\text{R}}{\text{Si}}} - \text{O} - \underset{\text{R}}{\overset{\text{R}}{\text{Si}}} - \right]_x$		

Tabulka 23 - pokračování

Monomer a strukturální vzorec	Struktura polymeru	Schopnost vulkanisace	Užívaný nebo obchodní název	Nejdůležitější vlastnosti
<p>c) Vinylacetát, zhydrolysováný při polymeračním pochodu</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C} = \text{O} + \text{H}_2\text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\left[-\text{CH}_2 - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \right]_x$ <p>Polyvinylalkohol</p>	ne	Resistoflex	Schopný cyklisace, vlastnosti méně význačné než polyvinylchlorid
5. Směsné polymery (kopolymery)				
<p>a) 1,3-butadien + styren</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2 \\ + \text{CH} = \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\left[-\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} - \right]_x$	ano	Buna S, Buna SS (více styrenu) GR-S, Hycar OS, Gold-Rubber	Plastická, snadno zpracovatelná hmota, výrobky značně houževnaté, odolné proti stárnutí i nízkým teplotám. Botná v benzínu a benzenu
<p>b) 1,3-butadien + akrylonitril</p> $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2 + \text{CH}_2 = \text{CH} \cdot \text{CN}$	$\left[-\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \underset{\text{CN}}{\text{CH}} - \right]_x$	ano	Perbunan, Perbunan extra (více akrylonitrilu), Perbunan SP (emulze), Hycar OR, Polysar N Chemigum, GR-N	Botná v benzenu, stálý proti působení minerálních olejů a benzínu, značně odolný proti nízkým teplotám, mechanickému opotřebení a stárnutí
<p>c) Isobutyleen + isopren (2-metyl-1,3-butadien) (95-98%)</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{C} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} + \begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{C} - \text{CH} = \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \quad (2-5\%)$	$\left[-\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} - \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \right]_x$	ano	Butyl, GR-I	Vlastnosti podobné jako Perbunan. Je trochu méně pružný, avšak velmi odolný proti otírání
6. Silikonové kaučuky (silikokaučuky)				
<p>Silandioly</p> $\text{HO} - \underset{\text{R}}{\overset{\text{R}}{\text{Si}}} - \text{OH}$	<p>Siloxany</p> $\left[-\text{O} - \underset{\text{R}}{\overset{\text{R}}{\text{Si}}} - \text{O} - \underset{\text{R}}{\overset{\text{R}}{\text{Si}}} - \right]_x$	ano	Polysiloxany, Silico-kaučuk, Silastic	Velmi odolný proti rozpouštědlům a vodě, velmi stálý a pružný při vysokých i nízkých teplotách

Shrnutí polymery, dávající hmoty s vlastnostmi podobnými vlastnostem kaučuku, nazýváme elastomery.

Polymerace kaučukových monomerů může probíhat buď za přítomnosti kovového sodíku nebo jiných alkalických kovů na bloky surového kaučuku (další zpracování je stejné jako u přírodního kaučuku) nebo ve vodní emulsi na syntetický latex (jehož další zpracování je opět stejné jako u přírodního latexu). Zabránění přílišného rozvětvení makromolekul se dosahuje kopolymerací se styrenem (buna S), s akrylonitrilem (Perbunan) a pod. nebo polymerací při nízkých teplotách (pod 10°C). Některé vlastnosti několika druhů syntetických kaučuků jsou uvedeny v tabulce 24. Proti přírodnímu kaučuku má syntetický kaučuk větší rozvětvení, z čehož vyplývá i rozdílnost vlastností (srovnej tab. 22 a 24).

5.3. Silikonový kaučuk

Výborná hmota je silikonová pryž. Je sice méně odolná proti opotřebení než přírodní pryž, ale zato je velmi stálá za tepla. Snáší trvalé zahřátí na $150 - 180^{\circ}\text{C}$, přičemž se vůbec nemění její původní pružnost. Pružnost si zachovává v rozmezí teplot -60°C až do $+200^{\circ}\text{C}$.

Silikonové pryže se vyrábějí s různými plnivými, čímž se v širokých mezích ovlivňují jejich vlastnosti. Jsou odolné proti oxidaci, porušují se pouze působením fluorovodíku, samy jsou inertní.

Silikonový kaučuk se zhotovuje jako kropa a směs se připravuje vulkanisací podobným způsobem jako přírodní nebo syntetický kaučuk. Vulkanisací zde rozumíme spojení lineárních řetězců příčnými kyslíkovými vazbami. Některé vlastnosti silikonových pryží jsou uvedeny v tabulce 25.

Souhrnně polymery, dávající hmoty s vlastnostmi podobnými vlastnostem kaučuku, nazýváme elastomery.

Polymerace kaučukových monomerů může probíhat buď za přítomnosti kovového sodíku nebo jiných alkalických kovů na bloky surového kaučuku (další zpracování je stejné jako u přírodního kaučuku) nebo ve vodní emulsi na syntetický latex (jehož další zpracování je opět stejné jako u přírodního latexu). Zabránění přílišného rozvětvení makromolekul se dosahuje kopolymerací se styrenem (buna S), s akrylonitrilem (Perbunan) a pod. nebo polymerací při nízkých teplotách (pod 10°C). Některé vlastnosti několika druhů syntetických kaučuků jsou uvedeny v tabulce 24. Proti přírodnímu kaučuku má syntetický kaučuk větší rozvětvení, z čehož vyplývá i rozdílnost vlastností (srovnej tab. 22 a 24).

5.3. Silikonový kaučuk

Výborná hmota je silikonová pryž. Je sice méně odolná proti opotřebení než přírodní pryž, ale zato je velmi stálá za tepla. Snáší trvalé zahřátí na $150 - 180^{\circ}\text{C}$, přičemž se vůbec nemění její původní pružnost. Pružnost si zachovává v rozmezí teplot -60°C až do $+200^{\circ}\text{C}$.

Silikonové pryže se vyrábějí s různými plnivý, čímž se v širokých mezích ovlivňují jejich vlastnosti. Jsou odolné proti oxidaci, porušují se pouze působením fluorovodíku, samy jsou inertní.

Silikonový kaučuk se zhotovuje jako krcpa a směs se připravuje vulkanisací podobným způsobem jako přírodní nebo syntetický kaučuk. Vulkanisací zde rozumíme spojení lineárních řetězců příčnými kyslíkovými vazbami. Některé vlastnosti silikonových pryží jsou uvedeny v tabulce 25.

Vlastnost	Polyvinyl- butyral měkčený neplněný	Polyisobutylen		Polychlor- butadien bez plniva, vulk., (Neopren)	Styren+ butadien bez plniva, vulk., (Buna S)	Polyetylen- tetrasul- fid
		neplněný vysoko vis- kozní	plněný minerální moučkou			
Měrná váha t/m^3	1,05	0,93	1,4-1,6	1,2-1,4	0,98-1,00	1,35-1,52
Pevnost v tahu kg/cm^2	50-280	30-70	20-40	300-400	40-60 plněný	70-120
Tažnost %	150-450	800-1200	60-100	850-1050	200-350 350-500	150-400
Modul pružnosti v tahu kg/cm^2 při prodloužení 300%	-	20-35	-	10-20	15-50	~45
Tepelná vodivost $cal/sec.cm.^{\circ}C$	-	-	$5-9 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	-	-
Součinitel tepelné roz- tažnosti $10^{-5}.cm/^{\circ}C$	-	20-23	15-20	15-20	12-19	-
Vliv organických rozpouš- tředel	alif.uhlov. alif.ketony a ester. + alkoh.a ar- mat.ketony ++	většinou 0 benzen ++ petroleter ++	podle plni- va větši- nou 0, benzen + petrol- eter +	Alkoholy 0 ketony, estery +, benzen ++	většinou ++	většinou +
Chemická odolnost asi při 20°C proti:						
žřed.kyselinám	malá	velmi dobrá	dobrá	velmi dobrá	dobrá	dobrá
koncetr. "	malá	dobrá	dobrá	dobrá	malá	malá
žřed.zásadám	dobrá	velmi dobrá	dobrá	dobrá	dobrá	dobrá
koncetr. zásadám	malá	dobrá	dobrá	velmi dobrá	dobrá	malá

abulka 25.

Vlastnost	Silikonový kaučuk	
	neplněný vulkanisovaný	Plněný minerál.moučkou
Hézná váha t/m ³	1,3 - 1,5	1,4 - 2
evnost v tahu kg/cm ²	28 - 80	15 - 45
žnost %	150 - 300	100 - 220
oučinitel délkové oztažnosti 1/°C	-	0,3 - 0,5.10 ⁻⁵
epelná vodivost al/sec. cm. °C	3,5-4,6.10 ⁻⁴	-
vliv organických rozpuštědel	alkohol, keto- ny, estery 0 benzen, oleje ++	dtto
hemická odolnost ři 20°C		
ředěným kyselinám	dostí dobrá	dobrá
oncentr. kyselinám	dostí dobrá	dostí dobrá
ředěným zásadám	dobrá	dobrá
oncentr. zásadám	dobrá	dobrá

4. Nátérové hmoty kaučukové

Syntetické kaučuky se ve velké míře používají v nátérové technice pro ochranu stavebních i technologických zařízení.

Pojivem chlorkaučukových nátérových hmot je chlorovaný kaučuk obsahující okolo 65% chloru a rozpuštěný ve vhodném rozpouštědle. Obsahuje navíc ještě přísadu pryskyřic ke zlepšení přilnavosti podkladu a měkčidlo. Chlorkaučukové nátérové hmoty dobře odolávají povětrnostním vlivům, vlhkosti a plyným korozním prostředím.

V poslední době se začínají více používat chloroprenové nátérové hmoty pro velmi dobrou chemickou odolnost, vysokou pružnost a možnost nanášení dosti tlustých povlaků (až 2 mm). Základní hmotou je rozpuštěný chloroprenový (chlorbutadienový) kaučuk s přísadou vhodných plnidel a vulkanisačních přísad. Nanáší se štětcem nebo třikáním v několika (3-5) vrstvách. Hodí se pro ochranu betonu, celi, dřeva. Beton je třeba před nanášením nátérové hmoty fluato-

Tabulka 25.

Vlastnost	Silikonový kaučuk	
	neplněný vulkanisovaný	Plněný minerál.moučkou
Měrná váha t/m ³	1,3 - 1,5	1,4 - 2
Pevnost v tahu kg/cm ²	28 - 80	15 - 45
Tažnost %	150 - 300	100 - 220
Součinitel délkové roztažnosti 1/°C	-	0,3 - 0,5.10 ⁻⁵
Tepelná vodivost cal/sec. cm. °C	3,5-4,6.10 ⁻⁴	-
Vliv organických rozpouštědel	alkohol, ketony, estery O benzen, oleje ++	dtto
Chemická odolnost při 20°C		
Zředěným kyselinám	dostá dobrá	dobrá
Koncentr. kyselinám	dostá dobrá	dostá dobrá
Zředěným zásadám	dobrá	dobrá
Koncentr. zásadám	dobrá	dobrá

5.4. Nátěrové hmoty kaučukové

Syntetické kaučuky se ve velké míře používají v nátěrové technice pro ochranu stavebních i technologických zařízení.

Pojivem chlorkaučukových nátěrových hmot je chlorovaný kaučuk obsahující okolo 65% chloru a rozpuštěný ve vhodném rozpouštědle. Obsahuje navíc ještě přísadu pryskyřic ke zlepšení přilnavosti k podkladu a někčidlo. Chlorkaučukové nátěrové hmoty dobře odolávají povětrnostním vlivům, vlhkosti a plynným korozním prostředím.

V poslední době se začínají více používat chloroprenové nátěrové hmoty pro velmi dobrou chemickou odolnost, vysokou pružnost a možnost nanášení dosti tlustých povlaků (až 2 mm). Základní hmotou je rozpuštěný chloroprenový (chlorbutadienový) kaučuk s přísadou vhodných plnidel a vulkanisačních přísad. Nanáší se štětcem nebo stříkáním v několika (3-5) vrstvách. Hodí se pro ochranu betonu, oceli, dřeva. Beton je třeba před nanášením nátěrové hmoty fluáto-

vat. Hodí se pro plynná i kapalná korosní prostředí s velmi dobrou odolností proti oděru (např. nádrže, potrubí, čerpadla).

tenké ochranné povlaky se provádí stříkáním speciálně upravených emulzí syntetických kaučuků.

5.5. Povrchové ochrany stříkáním plastických hmot a kaučuků

5.5.1. Metoda žárového stříkání

Metoda žárového stříkání plastických hmot umožňuje zhotovovat tenké ochranné povlaky z termoplastických hmot, jež nelze připravit ve formě nátěrů, t. j. těch, jež nejsou rozpustné v běžných rozpouštědlech. Princip žárového stříkání byl převzat od šopování. Zařízení se skládá z vhodně upraveného kruhového hořáku pistolového tvaru, jehož středem se podávacím zařízením přivádí stlačeným vzduchem jemně práškováná plastická hmota. Ta se při průletu plamenem roztaví ve tvaru kapek dopadá na předehřátý kovový podklad. Jednotlivé kapky roztavené plastické hmoty se slévají a po vychladnutí vytvářejí pružný, nepropustný film. Jako topného plynu se používá směs acetylénu s kyslíkem nebo vzduchem. Podávací zařízení se skládá z zásobníku na práškovou hmotu a má jalové, jemně perforované dno, kterým se prochází vzduch, takže prášková hmota v zásobníku silně víří a vytváří dispersi ve vzduchu. Takto dispergovaná prášková hmota se buď odsává, nebo je přetlakem odváděna do trysky ve středu kruhového hořáku. Princip této metody je velmi jednoduchý, v praxi je však třeba k zhotovení dokonalého ochranného povlaku velkých zkušeností a přesností. Z termoplastických hmot se pro žárové stříkání hodí pouze ty, mezi jejichž teplotou tání a rozkladu je velký interval. Vhodné jsou proto pro žárové stříkání např. polyetylén, polypropylen a polyamidy; naprosto nevhodný je polyvinylchlorid. Žárové nastříkané filmy plastických hmot mívají tloušťku 200 až 500 mikronů. Za předpokladu, že byly odborně provedeny, mají stejnou tepelnou i chemickou odolnost jako výchozí

hmota. Práškové hmoty pro žárové stříkání se zatím do ČSSR dovážejí ze zahraničí. Je třeba ještě doplnit, že na betonové podklady se žárové stříkání plastických hmot nedoporučuje, neboť při ochlazení se film smršťuje a odtrhuje i s povrchem betonu. Filmy dobře drží na správně zdrsňených kovech. Zatímco se žárové stříkání používá pro povlákání větších a velkých ploch nádrží a zařízení, byla pro malé součásti vyvinuta metoda fluidního povlákání (tzv. Wirbelsinterverfahren). Princip metody záleží v tom, že kovový předmět, který se má opatřit vrstvou plastické hmoty, se ohřeje na teplotu blízkou bodu rozkladu plastické hmoty a ihned se vnoří do disperse práškové plastické hmoty ve vzduchu, která se připraví v podobném zařízení, jako je aparatura pro žárové stříkání. V podstatě je to kovová nádoba s jemně perforovaným dnem, na kterém je prášková hmota. Spodem se přivádí tlakový vzduch a ten rozvíjí plastickou hmotu a vytváří vzdušnou dispersi, která při styku s horkým předmětem se na jeho povrchu taví, slévá a vytváří celistvý povlak na celém povrchu.

5.5.2. Stříkání pružnými hmotami

Stříkací metodou lze zhotovit izolační chemicky odolné povlaky různých stavebních materiálů (betonu, zdiva), jež předčí asfaltové izolace a je možno je postavit na úroveň izolace např. z Rhepanolu ORG (pásky vysokomolekulárního polyisobutylenu plněného sazemí a grafitem). U nás se doposud nepoužívá, protože se u nás nevyrábí potřebné syntetické kaučuky nebo plastické hmoty.

Základním materiálem stříkacích hmot jsou speciálně upravené emulze syntetických kaučuků. Tak např. stříkací hmota DWS 1 je kaučuková emulze, která po nanášení a vyschnutí za studena vulkanisuje na měkkou a nepropustnou pryžovou vrstvu. Stříkací hmota DWS 2 je emulze polyisobutylénová, po jejím nanášení se získá izolační povlak podobný Rhepanolu ORG. Stříkací hmota DWS 3 je emulze polyakrylonitrilového kaučuku. Izolační povlaky z této hmoty

se vyznačují vedle dobré chemické odolnosti a nepropustnosti tím, že na jejich povrchu dobře lpí jak pryskyřičné, tak i křemičitanové tmely. Další stříkací hmotou je emulze kopolymeru PVC-PVD (polyvinylidenchloridu, tzv. Saranu), dodávaná pod názvem Keragelith-P 2. Všechny čtyři vyjmenované druhy stříkacích hmot mají tu výhodu, že je lze nanášet na suché i vlhké podklady. Pro získání homogenního nepropustného filmu postačí zpravidla 4 až 5 nástřikových vrstev a tloušťka povlaku se pak pohybuje okolo 1 mm. Není však žádný problém zhotovit povlaky tlustší, neboť stříkací metoda je velmi ekonomická. Podle údajů dodavatele lze nástřikat za 1 hodinu 40 až 60 m². Nástřiky zasychají za 2 hodiny, takže po této době je již možno nanášet další vrstvy, úplné proschnutí a vulkanisace pouze u druhu DWS 1 proběhnou během dvou dní za normální teploty. Po této době lze povlaky již chemicky namáhat. Povlaky z hmoty DWS 1 jsou odolné slabým kyselinám a zásadám, DWS 2 navíc odolává oxidačním látkám. Stejnou odolnost má i hmota DWS 3. Nejlepší z těchto výrobků je bezesporu Keragelith F2, neboť povlaky z něho zhotovené odolávají nejen kyselinám a zásadám, ale tukům, olejům, benzínu a koncentrovaným oxydujícím kyselinám (např. kyseliny chromové). Ve zvláštní kvalitě jsou tyto povlaky vhodné také pro potravinářský průmysl. Je třeba ještě podotknout, že povlaky z výše jmenovaných hmot jsou vysoce pružné, takže snadno překlenou dilatační pohyby nebo trhlinky, vznikající při sedání nových staveb a podobně. Maximální teplota použití stříkaných povlaků je 80°C. Stříkací zařízení při nanášení těchto hmot je běžného zásobníkového typu, trysky v pistoli mají průměr 2 až 5 mm, a mění se podle toho, jak tlusté vrstvy se mají nanášet. Tímto stříkacím zařízením se také dají nanášet povlaky z přiřazeného epoxydového stěrkového tmelu Keranol E.

Podrobně budou organické nátěry probírány v dalších přednáškách.

6. Zvláštní výrobky z plastických hmot

6.1. Folie

Ve formě folií se vyrábí mnoho druhů plastických hmot. Všimněme si jen těch, které mají význam pro izolaci stavebního díla. Jako isolační folie jsou vhodné tyto plastické hmoty: polyvinylchlorid, polyetylen, polypropylen, polyamid, polyisobutylem, polyvinylidenchlorid, polyvinylfluorid, případně syntetické kaučuky. Některé vlastnosti folií některých z těchto materiálů jsou uvedeny v tabulce 26, str. 119.

6.1.1. Folie z polyvinylchloridu

Folie z polyvinylchloridu se vyrábějí lisováním nebo kalandrováním. Neměkčené se nazývají novodurové, měkčené novoplastové. Novoplastové folie, které se změkčují různými organickými sloučeninami s vysokým bodem varu a nízkou prchavostí, jsou pro isolační účely výhodnější: mají velkou pružnost a ohybnost. I ostatními vlastnostmi se liší novodurové folie od novoplastových.

Při vyšších teplotách vyvolává voda bobtnání PVC folie, při kterém se tvoří trhlinky. Proto se nedoporučuje trvalý styk s vodou teplejší než 40°C. Stárnutí polyvinylchloridových folií vyvolává zvláště teplo a světlo (při novoplastových i ztráta změkčovadla). Působením světla, zejména ultrafialových paprsků, ztrácejí folie nejprve svoji přirozenou barvu - blednou, potom se na nich začínají objevovat hnědé až černé skvrny; dochází k destrukci. Tepelná destrukce vzniká při teplotách nad 100°C.

PVC folie zabudované v izolacích stavebního díla nejsou však obvykle vystavené působení tepla ani světla. Při použití folií jako povrchové vrstvy izolací střeš se musí PVC stabilisovat, zejména proti atmosférickým vlivům. Běžně vyráběné folie Novoplast

VI

Měrn

Tlouš

Pevno

Tažno

Rozme

Nasák

Propu

Hořla

Odoln

Chemi

Voda

Kysel

Zásady

Organi

Tuky

Tabulka 26.

Vlastnost	PVC- Novodur	PVC- Novoplast	Polystylen	Poly- propylen	Poly- izobutylem	Polyamid	Polystyren	Polyvinyl- fluorid
Měrná hmotnost (g/cm^3)	1,24+1,45	1,24+1,45	0,92	0,90+0,91	0,91+0,92	1,08 + 1,14	1,05 + 1,07	1,37
Tloušťka folie (mm)	0,03+0,8	0,025+1,1	0,03 + 0,25	0,05+0,25	1 + 2	0,04 + 0,25	0,02 + 0,25	0,01+0,1
Pevnost v tahu (kg/cm^2)	500+700	100+400	80 + 250	300+400	50 + 150	65	450 + 850	980
Tažnost %	5+30	60 + 400	200 + 800	250+700	600+ 1000	250 + 400	3 + 10	100
Rozmezí tepelné použitelnosti $^{\circ}C$	do +50	+45 + +60	+55 + +85	-35 + +125	-50 + +130	-50 + +120	do +80	do +130
Nasákavost ve vodě za 24 hod. %	0,0	0,2 + 0,7	0,3	pod 0,01	pod 0,01	1,5	0,06	pod 0,01
Propustnost vodních par ($g/m^2/24h/mm$ tloušťky)	3,9+79	9 + 125	1,5 + 50	2,0	-	0,5 + 800	20 + 97	40
Hořlavost	samozhasina- jící	samozhasina- jící	slabě hoří	slabě hoří	slabě hoří	slabě hoří	slabě hoří	nehoří
Odpornost proti slunečnímu světlu	dobrá	malá	dobrá	dobrá	dobrá	malá	dobrá	velmi dobrá
Chemická odolnost								
Voda	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá
Kyseliny	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	dobrá	velmi dobrá
Zásady	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá
Organická rozpouštědla	dobrá	dobrá	dobrá	dobrá	dobrá	velmi dobrá	dobrá	velmi dobrá
Tuky	dobrá	dobrá	dobrá	velmi dobrá	-	velmi dobrá	dobrá	velmi dobrá

sou nevhodné.

V ČSSR se vyrábějí isolační fólie z PVC pod názvem Izofol B těchto druhů: Izofol BA, Izofol BB, Izofol BC, každý v tloušťkách 0,6; 0,9; 1,1 mm a šířkou 1400 mm. Obsahují 32 až 37% změkčovadla. Jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou v tabulce 27. Fólie ve styku s plamenem hoří, po jeho oddálení zhasnou.

Tabulka 27.

Vlastnost	Izofol BA	Izofol BB	Izofol BC
Měrná váha t/m ³	od 1,2 do 1,26		
Pevnost v tahu (kg/cm ²) ve směru válcování (po délce)	200	160	160
kolmo na směr válcování	150	150	150
Tažnost %		250	
Dlouhodobá pevnost v tla- ku (po 1 roce v % krátko- dobé pevnosti)	80-90	75	46
Mrazuvzdornost °C	-15	-130	-45
Barva	bezbarvý	šedý	červený
Součinitel tepelné roztlačnosti 1/°C	7 - 20 · 10 ⁻⁵		

PVC fólie vykazují mnohem větší rozměrové změny vlivem teploty než ostatní stavební materiály a je třeba s tím počítat. Vodopropustnost fólií je tak nepatrná, že při teplotách nad 5° se stačí kapaliny z povrchu fólie odpařit. Např. vodopropustnost fólie 0,6 mm tlusté je několikanásobně nižší než asfaltových izolací. Propustnost agresivních vod je ještě nižší.

6.1.2. Fólie z odpadového PVC- fólie K.

Z odpadového PVC se vyrábějí dva druhy:

fólie KA, - je z konfekčního odpadu

jsou nevhodné.

V ČSSR se vyrábějí isolační fólie z PVC pod názvem Izofol B v těchto druzích: Izofol BA, Izofol BB, Izofol BC, každý v tloušťkách 0,6; 0,9; 1,1 mm a šířkou 1400 mm. Obsahují 32 až 37% změkčovadla. Jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou v tabulce 27. Fólie ve styku s plamenem hoří, po jeho oddálení zhasnou.

Tabulka 27.

Vlastnost	Izofol BA	Izofol BB	Izofol BC
Měrná váha t/m ³	od 1,2 do 1,26		
Pevnost v tahu (kg/cm ²) ve směru válcování (po délce)	200	160	160
kolmo na směr válcování	150	150	150
Tažnost %		250	
Dlouhodobá pevnost v tlaku (po 1 roce v % krátkodobé pevnosti)	80-90	75	46
Mrazuvzdornost °C	-15	-130	-45
Barva	bezbarvý	šedý	červený
Součinitel tepelné roztažnosti 1/°C	7 - 20 · 10 ⁻⁵		

PVC fólie vykazují mnohem větší rozměrové změny vlivem teploty než ostatní stavební materiály a je třeba s tím počítat. Vodopropustnost fólií je tak nepatrná, že při teplotách nad 5° se stávají kapaliny z povrchu fólie odpařit. Např. vodopropustnost fólie 0,6 mm tlusté je několikanásobně nižší než asfaltových izolací. Propustnost agresivních vod je ještě nižší.

6.1.2. Fólie z odpadového PVC- fólie K.

Z odpadového PVC se vyrábějí dva druhy:

fólie KA - je z konfekčního odpadu

fólie KB - je z konfekčního odpadu s přidavkem kumaronové pryskyřice

Tloušťka folií je 0,9 mm. Mohou se použít jenom na méně náročné isolační účely.

6.1.3. Polyetylenové folie

Polyetylenové folie se vyrábějí stříkáním. Protože se polyetylen zpracovává bez změkčovadel, folie jsou pružné a mají vysokou tažnost. Jejich nevýhodou je, že po zapálení hoří dále. Patří mezi chemicky nejodolnější isolační materiál. Polyetylenové folie jsou pružné i při velmi nízkých teplotách a je možno je používat do teplot 80-85°C. Mechanické vlastnosti závisí od druhu použitého polyetylenu (vysokotlaký, nízkotlaký). Fyzikální a mechanické vlastnosti se působením vody téměř vůbec nemění a folie jsou prakticky vodonepropustné.

Polyetylenové folie musí být chráněné před přímým slunečním světlem, protože na něm tvrdnou, křehnou a snižují se jejich mechanické vlastnosti až praskají. Proto se proti světelné destrukci stabilisují pigmenty, nejlépe aktivními sazemí.

Na ochranu stavebního díla se mohou používat folie tloušťky 0,05 - 0,25 mm, plněné i neplněné. U nás se příliš nepoužívají, v zahraničí však jsou rozšířenější než PVC folie.

6.1.4. Polypropylenové folie

Polypropylenové folie se svými vlastnostmi, např. odolností proti chemikáliím i vzhledem podobají polyetylenovým foliím. Fyzikálně-mechanické vlastnosti má polypropylen ale lepší.

Je velmi vhodný na isolační folie, zejména pro minimální propustnost plynů, par a kapalin. Polypropylenové folie mají také větší tepelnou odolnost než polyetylen, mohou se používat do teploty 120 - 130°C; na druhé straně mají menší mrazuvzdornost. Zlepšení mrazuvzdornosti na -10 až -35°C se upraví přidavkem asi

10% polyisobutylenu.

6.1.5. Polyamidové folie

Folie z polyamidů jsou transparentní až mléčně zakalené. Jejich fyzikální a mechanické vlastnosti závisí od druhu polymeru a způsobu zpracování. Jejich mrazuvzdornost je veliká, do -50°C , horní hranice použitelnosti je 120°C .

Polyamidové folie jsou na rozdíl od polypropylenových částečně vodopropustné. Při styku s vodou absorbují určité množství vody (10 až 13%), čímž se zvyšují některé mechanické vlastnosti. Přes polyamidové folie rovněž difundují látky, které poskytují živnou půdu různým mikroorganismům. Působením povětrnosti a slunce folie křehnou, tvrdnou, tmavnou a mají sklon k praskání. Na druhé straně polyamidové folie uložené bez přístupu světla v suchém prostředí jsou stálejší než PVC folie.

Při ochraně stavebního díla se mohou používat jen pro méně náročné izolační práce. Tloušťka folií je 0,04 až 0,25 mm.

6.1.6. Polyisobutylénové folie

Jednou z nejrozšířenějších hmot na výrobu izolačních folií v zahraničí je polyisobutylén. Chemická odolnost i fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou velmi dobré. Má větší pružnost než polyetylen a teplotní rozsah použitelnosti je od -50 do $+130^{\circ}\text{C}$. Velmi dobře odolává vodě.

U nás se polyisobutylénové folie nevyrábějí. Jak již bylo řečeno se jich v zahraničí používá pro jejich vynikající vlastnosti na všechny druhy izolací. Kromě kapitalistických států se vyrábějí i v SSSR, NDR, MLR a PLR.

6.1.7. Polyvinylfluoridové folie

Rovněž jenom v zahraničí se vyrábějí kvalitní izolační folie z polyvinylfluoridu (chemicky podobný PVC, jen namísto atomu chlóru má v molekule atom fluoru).

Má vynikající vlastnosti, odolnost proti vodě a povětrnostním vlivům a chemické odolnost jsou o mnoho vyšší než u PVC a polyetyleny. Rovněž mají polyvinylfluoridové folie větší tepelnou odolnost než folie PVC.

6.1.8. Polystyrenové folie

Folie z polystyrenu (zejména houževnatého) jsou v některých případech z hlediska chemické odolnosti a fyzikálně-mechanických vlastností vhodné pro stavebně izolační účely. Folie jsou odolné proti vodě a jsou vodonepropustné. Tepelná destrukce probíhá ale již při 130°C . Působením ultrafialových paprsků dochází ke žloutnutí hmoty a snižování mechanických vlastností. U nás se nevyrábějí.

6.1.9. Polyvinylidenchloridové folie

Tyto folie mají vynikající odolnost proti působení chemikálií i vody, jsou vodonepropustné a mají dobré fyzikálně-mechanické vlastnosti. U nás se vyrábějí jen v malém množství a jejich použití pro stavební účely proto nepřichází v úvahu.

6.1.10. Kaučukové folie

V malém množství pro některé speciální případy se používají ve formě folií i přírodní a syntetický kaučuk.

6.1.11. Zpracování folií

Folie se obvykle lepí na beton nebo omítnuté zdivo s dokonale hladkým povrchem, podobně jako lepenky. Pro lepení se používá např. latex-asfaltová disperze za studena, teplý asfalt (do teploty 100°C) nebo rozpouštědlová lepidla.

Folie se používají především k izolaci stavebního díla před vlhkostí a agresivními činidly, k parotěsným izolacím, dále i izolaci základů, tunelů a jiných podzemních staveb proti zemní vlhkosti. Dále se používají k ochraně staveniště a k ochraně ma-

10% polyisobutylenu.

6.1.5. Polyamidové folie

Folie z polyamidů jsou transparentní až mléčně zakalené. Jejich fyzikální a mechanické vlastnosti závisí od druhu polymeru a způsobu zpracování. Jejich mrazuvzdornost je velká, do -50°C , horní hranice použitelnosti je 120°C .

Polyamidové folie jsou na rozdíl od polypropylenových částečně vodopropustné. Při styku s vodou absorbují určité množství vody (10 až 13%), čímž se zvyšují některé mechanické vlastnosti. Přes polyamidové folie rovněž difundují látky, které poskytují živnou půdu různým mikroorganismům. Působením povětrnosti a slunce folie křehnou, tvrdnou, tmavnou a mají sklon k praskání. Na druhé straně polyamidové folie uložené bez přístupu světla v suchém prostředí jsou stálejší než PVC folie.

Při ochraně stavebního díla se mohou používat jen pro méně náročné izolační práce. Tloušťka folií je 0,04 až 0,25 mm.

6.1.6. Polyisobutylénové folie

Jednou z nejrozšířenějších hmot na výrobu izolačních folií v zahraničí je polyisobutylén. Chemická odolnost i fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou velmi dobré. Má větší pružnost než polyetylen a teplotní rozsah použitelnosti je od -50 do $+130^{\circ}\text{C}$. Velmi dobře odolává vodě.

U nás se polyisobutylénové folie nevyrábějí. Jak již bylo řečeno se jich v zahraničí používá pro jejich vynikající vlastnosti na všechny druhy izolací. Kromě kapitalistických států se vyrábějí i v SSSR, NDR, MLR a PLR.

6.1.7. Polyvinylfluoridové folie

Rovněž jenom v zahraničí se vyrábějí kvalitní izolační folie z polyvinylfluoridu (chemicky podobný PVC, jen namísto atomu chlóru má v molekule atom fluoru).

Má vynikající vlastnosti, odolnost proti vodě a povětrnostním vlivům a chemické odolnost jsou o mnoho vyšší než u PVC a polyetylenu. Rovněž mají polyvinylfluoridové folie větší tepelnou odolnost než folie PVC.

6.1.8. Polystyrenové folie

Folie z polystyrenu (zejména houževnatého) jsou v některých případech z hlediska chemické odolnosti a fyzikálně-mechanických vlastností vhodné pro stavebně izolační účely. Folie jsou odolné proti vodě a jsou vodonepropustné. Tepelná destrukce probíhá ale již při 130°C . Působením ultrafialových paprsků dochází ke žloutnutí hmoty a snižování mechanických vlastností. U nás se nevyrábějí.

6.1.9. Polyvinylidenchloridové folie

Tyto folie mají vynikající odolnost proti působení chemikálií i vody, jsou vodonepropustné a mají dobré fyzikálně-mechanické vlastnosti. U nás se vyrábějí jen v malém množství a jejich použití pro stavební účely proto nepřichází v úvahu.

6.1.10. Kaučukové folie

V malém množství pro některé speciální případy se používají ve formě folií i přírodní a syntetický kaučuk.

6.1.11. Zpracování folií

Folie se obvykle lepí na beton nebo omítnuté zdivo s dokonale hladkým povrchem, podobně jako lepenky. Pro lepení se používá např. latex-asfaltová disperze za studena, teplý asfalt (do teploty 100°C) nebo rozpouštědlová lepidla.

Folie se používají především k izolaci stavebního díla před vlhkostí a agresivními činidly, k parotěsným izolacím, dále i izolaci základů, tunelů a jiných podzemních staveb proti zemní vlhkosti. Dále se používají k ochraně staveniště a k ochraně ma-

terialu. Při tomto posledním použití je třeba se vystríhat stálého zakrytí cementu folií, neboť se může dosáhnout pravého opaku - kondensaci zemní vlhkosti pod folií.

6.2. Trouby, trubky, tvarovky, profilované kusy,

V posledních letech se velmi rozšířilo a dále rozšiřuje používání plastických hmot pro vodovodní instalace a kanalisace.

6.2.1. Potrubí z PVC

Nejrozšířenějším materiálem pro výrobu potrubí u nás je PVC, jinde polyetylen, případně skelné laminaty. Práce s PVC je jednoduchá a rychlá, je fyziologicky nezávadný a odolný čisté i odpadové vodě. Používá se jen pro transport studené vody, pro odpady jen do teploty 60°C.

Velikou výhodou je snížení váhy instalací: při použití PVC je pro stejné vnitřní průměry úspora váhy 50-80%, při použití polyethylenu 85-90% vzhledem k ocelovým armaturám.

Trubky menšího průměru (do 160 mm) se vyrábí vytlačováním v délkách 4 až 6 m, trouby většího průměru se vyrábějí svařováním desek. Vytlačované trubky se vyrábějí pro tlaky 0,5; 2,5 a 6 atm. při teplotě 20°C; při vyšších teplotách se přípustné tlaky zmenšují na 0; 1 a 2,5 atm. při 40°C a pro 60°C teplotou vodou je třeba již použít zahraniční trubky vyráběné pro tlak 10 atm. při 20°C a připustit v nich tlak pouze 1 atm.

Tvarovky se vyrábějí vstřikováním nebo tvarováním, někdy i svařením.

Potrubí z PVC je třeba dobře připevnit, při transportu teplejších tekutin nejlépe podepřít po celé délce.

Tvarování novodurového potrubí se provádí vždy za tepla, a to ohybáním, roztahováním a smršťováním.

Ohybání trubek se provádí obvyklým způsobem (viz. kap.8),

průměr $D = 6$ až 25 mm je poloměr zakřivení $2D$
průměr $D = 32$ až 65 mm je poloměr zakřivení $3D$
průměr $D = 80$ až 150 mm je poloměr zakřivení $4D$.

Roztahování trubek se provede zahřátím konce trubky teplým olejem asi na 130°C a zasunutím do ní studeného kalibrovaného druhu nebo druhé trubky a následného prudkého ochlazení (z vnějšku).

Smršťování trubek využívá tvarové paměti materiálu. Trubka se nejprve roztáhne za tepla jako při roztahování a ochladí se vodou. Pak se nasune na druhou trubku a zahřívá se; hmota se smrští na původní průměr. Vnitřní průměr roztahované trubky má být asi o třetinu menší než vnější průměr trubky, se kterou se má spojit.

Spojování trubek se provádí lepením do sebe zasunutých trubek. Zřídka se používá i svařování¹ pro trubky menších průměrů (do 160 mm), pro větší průměry se používá pro spoje výhradně svařování.

6.2.2. Polyetylenové potrubí

Vyrábějí se z něj potrubí různých průměrů, tvarovky, profilové kusy a sanitární výrobky. Vyrábí se jednak vytlačováním, svařením nebo litím pod tlakem do forem, jednak trouby velkého průměru se navinují z vytlačovaného pásu nebo se vyrábí odstředivým litím.

Potrubí menších průměrů se vyrábí ve velkých délkách a namotává se do kotouče jako kabely. Vyrábějí se druhy pro beztlakové použití nebo pro tlaky do 2,5; 6,0 a 10 atm. Proti PVC trubkám mají větší chemickou odolnost, jsou ohebné a vyžadují jen málo spojů (vyrábějí se dlouhé). Pro výrobu trub se používá vysokotlakový i nízkotlakový polyetylen.

Spojování se provádí svařením na tupo nebo svařováním přesuvkou se žhavicí spirálou a konečně svařováním pomocí indukčního

teriálu. Při tomto posledním použití je třeba se vystríhat stálého zakrytí cementu folií, neboť se může dosáhnout pravého opaku - kondensaci zemní vlhkosti pod folií.

6.2. Trouby, trubky, tvarovky, profilované kusy,

V posledních letech se velmi rozšířilo a dále rozšiřuje používání plastických hmot pro vodovodní instalace a kanalisace.

6.2.1. Potrubí z PVC

Nejrozšířenějším materiálem pro výrobu potrubí u nás je PVC, jinde polyetylen, případně skelné laminaty. Práce s PVC je jednoduchá a rychlá, je fyziologicky nezávadný a odolný čisté i odpadové vodě. Používá se jen pro transport studené vody, pro odpady jen do teploty 60°C.

Velikou výhodou je snížení váhy instalací: při použití PVC je pro stejné vnitřní průměry úspora váhy 50-80%, při použití polyetylenu 85-90% vzhledem k ocelovým armaturám.

Trubky menšího průměru (do 160 mm) se vyrábí vytlačováním v délkách 4 až 6 m, trouby většího průměru se vyrábějí svařováním desek. Vytlačované trubky se vyrábějí pro tlaky 0,5; 2,5 a 6 atm. při teplotě 20°C; při vyšších teplotách se přípustné tlaky zmenšují na 0; 1 a 2,5 atm. při 40°C a pro 60°C teplotou vodu je třeba již použít zahraniční trubky vyráběné pro tlak 10 atm. při 20°C a připustit v nich tlak pouze 1 atm.

Tvarovky se vyrábějí vstřikováním nebo tvarováním, někdy i svářením.

Potrubí z PVC je třeba dobře připevnit, při transportu teplejších tekutin nejlépe podepřít po celé délce.

Tvarování novodurového potrubí se provádí vždy za tepla, a to ohybáním, roztahováním a smršťováním.

Ohybání trubek se provádí obvyklým způsobem (viz. kap.8),

příčemž

- pro průměr D = 6 až 25 mm je poloměr zakřivení 2 D
- pro průměr D = 32 až 65 mm je poloměr zakřivení 3 D
- pro průměr D = 80 až 150 mm je poloměr zakřivení 4 D.

Roztahování trubek se provede zahřátím konce trubky teplým vzduchem asi na 130°C a zasunutím do ní studeného kalibrovaného trnu nebo druhé trubky a následného prudkého ochlazení (z vnějšku).

Smršťování trubek využívá tvarové paměti materiálu. Trubka se nejprve roztáhne za tepla jako při roztahování a ochladí se vodou. Pak se nasune na druhou trubku a zahřívá se; hmota se smrští na původní průměr. Vnitřní průměr roztahované trubky má být asi o třetinu menší než vnější průměr trubky, se kterou se má spojit.

Spojování trubek se provádí lepením do sebe zasunutých trubek. Zřídka se používá i svařováníⁱ pro trubky menších průměrů (do 160 mm), pro větší průměry se spoje výhradně svařování.

6.2.2. Polyetylenové potrubí

Vyrábějí se z něj potrubí různých průměrů, tvarovky, profilové kusy a sanitární výrobky. Vyrábí se jednak vytlačováním, svářením nebo litím pod tlakem do forem, jednak trouby velkého průměru se navinují z vytlačovaného pásu nebo se vyrábí odstředivým litím.

Potrubí menších průměrů se vyrábí ve velkých délkách a namotává se do kotouče jako kabely. Vyrábějí se druhy pro beztlakové použití nebo pro tlaky do 2,5; 6,0 a 10 atm. Proti PVC trubkám mají větší chemickou odolnost, jsou ohebné a vyžadují jen málo spojů (vyrábějí se dlouhé). Pro výrobu trub se používá vysokotlakový i nízkotlakový polyetylen.

Spojování se provádí svářením na tupo nebo svařováním přesuvkou se žhavicí spirálou a konečně svařováním pomocí indukčního

kroužku. Sváření na tupo se provádí běžným způsobem, t.j. plamenem s přídavným materiálem.

Svařování přesuvkou spočívá v tom, že přímo v přesuvce je zavěšená kovová spirála, která ohřívá po zapojení elektrického proudu nízkého napětí konce obou trubek až k jejich natavení. Po sváření zůstane přesuvka trvale nasunutá na spoji.

Při sváření kondukčním kroužkem se používá kovový kroužek, který se plamenem ohřeje. Po zahřátí se na něj natáhnou konce trubek (jeden konec se přitom rozšíří), pak se trubky nasunou navzájem na sebe, přitlačí se k sobě a nechají vychladnout. Trubky vyráběné v ČSSR z PVC a polyetylenu jsou uvedeny v tabulce 28, str. 127.

6.2.3. Polypropylenové potrubí

Potrubí z polypropylenu je vhodné i na vřelou vodu nebo nízkotlakou páru.

Potrubí menších průměrů se vyrábí vytlačováním (jako polyetylen), potrubí velkých průměrů se vyrábí odstředováním. Přitom se práškový polypropylen dávkuje do otáčející se kovové formy, která je vyhřívána na 200-220°C. Když se polypropylen roztaví a v otáčející se formě se vytvoří souvislá vrstva, ochladí se na 70 až 100°C. Potom se forma přestane otáčet a nechá se úplně vychladnout.

Pro potrubí se dosud používá poměrně málo pro vyšší cenu a malou celkovou výrobu.

6.2.4. Polyamidové potrubí

Polyamid není dostatečně odolný proti vodě a vodní páře a podléhá působením vlhkosti velkým objemovým změnám. Proto se polyamid používá jen na výrobu armatur anebo jejich částí. Potrubí z polyamidů je vhodné pro vedení organických látek (benzinu, ole-

Vněj

(mm

5

6

8

10

12

15

20

25

32

40

48

60

80

90

110

135

160

TI

Tab. 28. Trubky z PVC-novoduru a polyetylénu vyráběné v ČSSR

Vnější Ø (mm)	PVC-novodur připustný tlak (kg/cm ²)				Vnější Ø (mm)	Polyetylen vysokotlakový připustný tlak (kg/cm ²)					
	2,5		6,0			2,5		6,0		10,0	
	tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)		tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)
5	1,0	0,018	1,0	0,018	17,0	1,75	0,077	2,00	0,087	2,75	0,107
6	1,0	0,022	1,0	0,022	21,0	2,00	0,110	2,25	0,122	3,50	0,142
8	1,5	0,043	1,5	0,043	26,5	2,00	0,142	3,00	0,204	4,50	0,245
10	1,5	0,056	1,5	0,056	33,5	2,00	0,182	3,50	0,303	5,50	0,364
12	2,0	0,088	2,0	0,088	42,0	2,00	0,231	4,50	0,488	7,00	0,590
15	2,0	0,114	2,0	0,114	48,0	2,50	0,329	5,00	0,621	8,00	0,742
20	2,5	0,192	2,5	0,192	60,0	3,00	0,494	6,50	1,005	10,00	1,206
25	3,0	0,290	3,0	0,290	90,0	-	-	-	-	-	-
32	3,0	0,382	4,0	0,490	110,0	-	-	-	-	-	-
40	3,5	0,562	5,0	0,770	-	-	-	-	-	-	-
48	3,5	0,685	5,5	1,028	-	-	-	-	-	-	-
60	4,0	0,985	6,5	1,530	-	-	-	-	-	-	-
80	5,0	1,695	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	5,5	2,044	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	6,5	2,954	-	-	-	-	-	-	-	-	-
135	7,5	4,206	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	8,5	5,664	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tloušťka stěny je v mm.

Tab. 28. Trubky z PVC-novoduru a polyetylénu vyráběné v ČSSR

PVC-novodur přípustný tlak (kg/cm ²)					Polyetylen vysokotlakový přípustný tlak (kg/cm ²)						Příp.
2,5		6,0		Vnější Ø (mm)	2,5		6,0		10,0		tloušťka stěny
tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)		tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)	
1,0	0,018	1,0	0,018	17,0	1,75	0,077	2,00	0,087	2,75	0,113	
1,0	0,022	1,0	0,022	21,0	2,00	0,110	2,25	0,122	3,50	0,177	
1,5	0,043	1,5	0,043	26,5	2,00	0,142	3,00	0,204	4,50	0,286	
1,5	0,056	1,5	0,056	33,5	2,00	0,182	3,50	0,303	5,50	0,445	
2,0	0,088	2,0	0,088	42,0	2,00	0,231	4,50	0,488	7,00	0,708	
2,0	0,114	2,0	0,114	48,0	2,50	0,329	5,00	0,621	8,00	0,925	
2,5	0,192	2,5	0,192	60,0	3,00	0,494	6,50	1,005	10,00	1,145	
3,0	0,290	3,0	0,290	90,0	-	-	-	-	-	-	5
3,0	0,382	4,0	0,490	110,0	-	-	-	-	-	-	6
3,5	0,562	5,0	0,770	-	-	-	-	-	-	-	
3,5	0,685	5,5	1,028	-	-	-	-	-	-	-	
4,0	0,985	6,5	1,530	-	-	-	-	-	-	-	
5,0	1,695	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5,5	2,044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6,5	2,954	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7,5	4,206	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8,5	5,664	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

tloušťka stěny je v mm.

Tab. 28. Trubky z PVC-novoduru a polyetylenu vyráběné v ČSSR

Vnější Ø (mm)	PVC-novodur připustný tlak (kg/cm ²)				Vnější Ø (mm)	Polyetylen vysokotlakový Připustný tlak (kg/cm ²)						Polyetylen nízko- tlakový Připust. tlak (kg/cm ²)	
	2,5		6,0			2,5		6,0		10,0		6,0	
	tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)		tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)
5	1,0	0,018	1,0	0,018	17,0	1,75	0,077	2,00	0,087	2,75	0,113	-	-
6	1,0	0,022	1,0	0,022	21,0	2,00	0,110	2,25	0,122	3,50	0,177	-	-
8	1,5	0,043	1,5	0,043	26,5	2,00	0,142	3,00	0,204	4,50	0,286	-	-
10	1,5	0,056	1,5	0,056	33,5	2,00	0,182	3,50	0,303	5,50	0,445	-	-
12	2,0	0,088	2,0	0,088	42,0	2,00	0,231	4,50	0,488	7,00	0,708	-	-
15	2,0	0,114	2,0	0,114	48,0	2,50	0,329	5,00	0,621	8,00	0,925	-	-
20	2,5	0,192	2,5	0,192	60,0	3,00	0,494	6,50	1,005	10,00	1,145	-	-
25	3,0	0,290	3,0	0,290	90,0	-	-	-	-	-	-	5,0	1,269
32	3,0	0,382	4,0	0,490	110,0	-	-	-	-	-	-	6,3	1,950
40	3,5	0,562	5,0	0,770	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	3,5	0,685	5,5	1,028	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	4,0	0,985	6,5	1,530	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	5,0	1,695	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	5,5	2,044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	6,5	2,954	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
135	7,5	4,206	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	8,5	5,664	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tloušťka stěny je v mm.

Tab. 28. Trubky z PVC-novoduru a polyetylenu vyráběné v ČSSR

Vnější \varnothing (mm)	PVC-novodur připustný tlak (kg/cm ²)				Vnější \varnothing (mm)	Polyetylen vysokotlakový Připustný tlak (kg/cm ²)						Polyetylen nízko- tlakový Připust. tlak (kg/cm ²)	
	2,5		6,0			2,5		6,0		10,0		6,0	
	tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)		tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)	tloušťka stěny	váha (kg/m)
5	1,0	0,018	1,0	0,018	17,0	1,75	0,077	2,00	0,087	2,75	0,113	-	-
6	1,0	0,022	1,0	0,022	21,0	2,00	0,110	2,25	0,122	3,50	0,177	-	-
8	1,5	0,043	1,5	0,043	26,5	2,00	0,142	3,00	0,204	4,50	0,286	-	-
10	1,5	0,056	1,5	0,056	33,5	2,00	0,182	3,50	0,303	5,50	0,445	-	-
12	2,0	0,088	2,0	0,088	42,0	2,00	0,231	4,50	0,488	7,00	0,708	-	-
15	2,0	0,114	2,0	0,114	48,0	2,50	0,329	5,00	0,621	8,00	0,925	-	-
20	2,5	0,192	2,5	0,192	60,0	3,00	0,494	6,50	1,005	10,00	1,145	-	-
25	3,0	0,290	3,0	0,290	90,0	-	-	-	-	-	-	5,0	1,269
32	3,0	0,382	4,0	0,490	110,0	-	-	-	-	-	-	6,3	1,950
40	3,5	0,562	5,0	0,770	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	3,5	0,685	5,5	1,028	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	4,0	0,985	6,5	1,530	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	5,0	1,695	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	5,5	2,044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	6,5	2,954	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
135	7,5	4,206	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	8,5	5,664	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tloušťka stěny je v mm.

jů), proti kterým má výbornou odolnost.

Potrubí se spojuje podobně jako PVC svařováním a lepením speciálními lepidly. Při svařování je třeba dodržet dosti přesně teplotu 120°C, neboť má úzký interval měknutí.

6.2.5. Polymetylmetakrylátové potrubí

Používá se jen ve speciálních případech, kde je potřeba pozorovat vedenou tekutinu. Vyrábějí se polymerací předpolymeru přímo ve formách nebo odstředivým způsobem. Roury větších průměrů se tvarují z desek za teploty 120 až 150°C. Spoj se svařuje za tepla stlačením spojovaných hran případně i lepí speciálním lepidlem.

6.2.6. Jiné druhy termoplastů na potrubí

V zahraničí se zkouší řada dalších termoplastů:
polyformaldehyd pro svoji pevnost, malé dotvarování a malou navlhavost. Používají se pro vysoké tlaky a teploty (12 atm při 60°C),
polykarbonát pro svoji houževnatost. Používá se zejména pro výrobu armatur, snáší teploty do 135°C,
akrylonitrilbutadienstyrenový kopolymer (ABS) pro svoji ohebnost a pevnost

6.2.7. Kovové potrubí s ochrannou vrstvou z plastických hmot

Kromě potrubí z plastických hmot se stále častěji používá kovové potrubí s ochrannou vrstvou z plastických hmot. Používá se nejčastěji PVC, polyetylen, polypropylen, polyamidy, polyakryláty, epoxydy a acetobutyrát celulosy.

Jeden ze způsobů je ukládat do ocelové trubky trubku s průměrem o něco menším z plastické hmoty, obvykle v PVC. Lepší je trubku z PVC stlačit za tepla a prudce ochladit, provléci do oce-

lové trubky a pak znovu zahřát; tvarová paměť PVC zajistí roztažení vnitřní trubky a pevné přitlačení na stěny ocelové obalové trubky.

Lepší způsob je nanášení plastické hmoty (prášku, taveniny nebo kapalné - rozpuštěné - plastické hmoty). Práškové hmoty se nanášejí vířivým způsobem nebo bezplamenným poprašováním.

6.2.8. Ostatní druhy potrubí

Další druhy potrubí ze skelných laminátů, faolitu a plastbetonu budou probrány na jiném místě.

6.3. Jiné výrobky

Jinými výrobky z plastických hmot nemáme čas se zabývat. Je jich nepřehledná řada a stále jich přibývá. Např. obklady, tapety, povlaky, závěsy, podlahy, těsnění dilatačních spar, nátěry, lepidla, pneumatické konstrukce, bednění, příčky, sendviče atd. Některé z nich budou ještě předmětem výkladu dalších přednášek, jako např. nátěrové hmoty a stěrkové hmoty.

7. Střešní krytiny z plastických

hmot

Dnes se ve stavebnictví používají nejvíce tři typy střešních krytin z plastických hmot. Jsou to krytiny z organického skla, dále krytiny získané z vinylových hmot a konečně krytiny z polyesterových, případně epoxydových laminátů.

7.1. Střešní krytiny z organického skla (polymethylmetakrylát)

Desky vyrobené z této hmoty v čirém bezbarvém provedení jsou průhlednější než křišťálové sklo. Propouštějí až 99% světelných paprsků. Jsou pevné a pružné, hoří jen velmi pomalu a jejich váha je o polovinu menší než váha křemičitého skla. Pro střešní krytiny se vyrábějí desky rovné a zvlněné, v tloušťce 2-3 mm, čiré nebo průsvitné v různých barvách. U nás se z organického skla vyrábějí pouze desky do rozměrů 1000 x 1500 mm, nevyrábí se doplňkové prvky k deskové krytině (hřebenáče, svodnice a pod.).

Při návrhu zastřešení je třeba počítat s tím, že organické sklo má poměrně velký součinitel tepelné roztažnosti ($7-9 \cdot 10^{-5}$). Minimální sklon střechy má být cca 30° (pro zajištění čistoty). Těsnící vložky do spojů se obvykle dělají z polyetylenu. Nevýhodou je malá odolnost obrusu (malá povrchová tvrdost), která je příčinou zhoršení průhlednosti, případně průsvitnosti v čase. Jinak vynikají desky z organického skla výbornou odolností povětrnostním vlivům a vlivům stárnutí.

Kromě rovných ploch se často dělají z organického skla i světelné kopulovitě tvaru. Často se desky z metylmetakrylátu používají i pro obklady svislých panelů na vnější fasády.

7.2. Střešní krytiny z vinylových polymerů

Pro tyto účely se používá převážně neměkčeného PVC. Nejvíce jsou tyto krytiny rovné, desky nejsou vzhledem k velkému součiniteli tepelné roztažnosti pevně připojovány k podkladu. Obvykle jsou jednotlivé desky připevněny k podkladu přídržnými pásky, rovněž z PVC. Rovněž spoje jednotlivých desek musí být tak upraveny, aby dovolovaly dostatečný pohyb při změnách teploty. Provádí se to obvykle tak, že desky jsou na koncích zahnuty nebo jinak tvarovány a pouze se do sebe zaklesnou, nebo se spojují mezivložkou z měkčeného PVC. Úprava těchto spojů může být např. podle obr. 26.

Krytiny z rovných desek z PVC se obvykle kladou na plnou střešní konstrukci s vrstvou nepískované střešní lepenky. V NDR se používá desek tloušťky 1 mm (vlastně folií), větší tloušťky obvykle nejsou vhodné pro jejich větší citlivost tepelným změnám.

V poslední době (posledních 4-6 let) se vyrábí z kopolymerů vinylových typů, ale zejména z PVC dokonale stabilizovaného, střešní krytiny vlnité. Takové výrobky jsou rozvinuty zejména v USA, Anglii, Japonsku, Itálii, Belgii, NSR. Tloušťka vlnitých desek bývá v rozmezí od 1 do 3 mm, šířka až 1,5 m, délka až několik m. Barevnost krytin z těchto materiálů může být libovolně volena (barvy jsou stálé). Světelná propustnost vlnitých desek v průsvitném provedení dosahuje až 85%. Zvlnění desek je buď ve směru podélném nebo i ve směru příčném. Desky s příčnými vlnami lze vyrobit až do délky 10 m a svinuté dopravovat na místo použití.

Některé firmy používají k výrobě desek zvláštních směsí, které dávají konečnému výrobku vysokou odolnost proti rázu a dále samozášeou schopnost, takže plně vyhovují a požárním předpisům. V Japonsku jsou tyto desky vyztužovány ocelovou síťovinou při obou površích.

Všechny tyto materiály nevykazují žádné zhoršení ani optické ani mechanických vlastností vlivem povětrnostních vlivů. Mají různé tvary, z nichž některé jsou uvedeny na dalším obrázku 27.

Různě profilovaných desek se používá také na obklady interiérů bytové a občanské výstavby.

Z tvrdého PVC se vyrábí i střešní příslušenství: okapní žlaby, spojky, odpaďní trubky, kolena atd., ale i okapní háky, šrouby do dřeva i matkové šrouby, šrouby do betonu, zdiva a jiných materiálů.

V některých státech se začíná používat i nástřik PVC na plechovou krytinu k její antikorozní ochraně.

7.3. Střešní krytiny z faalitu

Vyrábějí se pouze rovné desky maximálních rozměrů 200x700 mm, tloušťky 5 - 40 mm. Používají se pro zastřešení výroben s vysoce agresivním prostředím, zejména v těžkém chemickém průmyslu. Krytina je to ovšem velmi těžká a může se doporučit jen ve zcela zvláštních případech.

7.4. Střešní krytiny z polyesterových laminátů

Střešní krytiny z polyesterových laminátů jsou prakticky nejstarší plastické hmoty, používané pro zastřešení. Začaly se objevovat na trhu krátce po první světové válce, nejdříve v USA, později v Anglii a Francii a pak v dalších státech. Ačkoliv ceny nových typů střešních krytin z polyesterových laminátů byly v porovnání s cenami za tradiční tvrdé krytinové materiály (z kovů, osinokocementu, skla) značně vyšší, přece se rychle prosadily díky vlastnostem, které tradiční tvrdé krytiny nemají. Byla oceňována především jejich lehkost (4-5 kg/m² půdorysu), nerozbitnost, estetický vzhled, libovolná barva, vysoká propustnost světla (až 70-80%, někdy i více podle druhu výztuže a pigmentace) a

další dobré vlastnosti. U nás byla poprvé ve větším rozsahu použita vlnitá střešní krytina z polyesterových laminátů při zastřešení československého výstavního pavilonu na Světové výstavě v Bruselu (1958).

Výchozí surovinou je nenasycené polyesterová pryskyřice, vyztužená buď rohoží ze sekaných vláken nebo skelnou tkaninou. Podrobněji o vlastnostech skelných laminátů je pojednáno zvlášť.

Používají se krytiny s vlnovkami příčnými i podélnými, vyrábějí se nyní nejvíce na automatických kontinuálních linkách. Krytinové materiály s příčnými vlnami se možné jako u PVC svítnout do svitků a délce několika desítek metrů, což je výhodou při pokládání na střešní konstrukci.

Na moderních strojích (americký stroj Filon) se dosahuje produkce asi 1600 běžných metrů zvlhčených nebo rovných desek za směnu; přitom se ještě povrch opatřuje povlakem (filmem) z kombinace polyesterové a akrylonové pryskyřice, jež podstatně prodlužuje životnost těchto střech.

Střešní krytiny z polyesterových laminátů propouštějí téměř všechny vlnové délky viditelné části spektra a značný podíl ultračervených paprsků. Ultrafialové záření laminátové krytiny z větší části pohlcují; proto se jich s výhodou používá pro zastřešení skleníků. Vlivem absorpce ultrafialového záření se transparentnost krytiny postupně zhoršuje, charakteristické je pomalé žloutnutí.

Tepelná odolnost je od -40°C do +70°C. Většina výrobků z polyesterových laminátů při styku s plamenem hoří. Tam, kde je to podle předpisu potřebné, lze užít laminátu v samozhášející úpravě.

Krytiny z laminátů odolávají za normálních teplot průmyslovým prostředím s výpary benzínu, benzenu, alkoholu, minerálních olejů, tuků, zředěných kyselin a louhů. Proto se jich v cizině již

běžně užívá k zastřešení průmyslových objektů, jak ukazují statistická data o podílu laminátových krytin v celkové výrobě polyesterových laminátů podle tab. 29.

Tabulka 29.

Země	Podíl laminátových krytin v celkové produkce laminátů
Francie	70%
Itálie	50%
NSR	44%
Anglie	30%
USA	15%

Ekonomicky výhodné je použití těchto krytin i u objektů dočasného účelu (výstaviště, skladiště) pro úsporu v nosné konstrukci a rychlou montáž a demontáž.

Krytiny se kladou na střešní konstrukci a připevňují se tak, aby byla umožněna tepelná dilatace. Maximální vzdálenost krokvi je 110 cm, separační a ochranný celofán se snímá těsně před uložením desek na místo.

Přehled nejvíce rozšířených druhů laminátových střešních krytin domácích i zahraničních ukazuje tabulka 31, str. 136.

Některé vlastnosti našich polyesterových laminátových desek (Plastiver-Plastimat Praha) uvádí tabulka 30.

Tabulka 30

Vlastnost	Výztuž ze skleněné rohože	Výztuž ze textilu
Propustnost denního světla %	80 - 90	5
Měrná váha t/m ³	1,5	
Váha lm ² desky o tloušťce	1,3-1,6mm 2,2-2,3kg	

Pokračování tab. 30.

Vlastnost	Výztuž ze skleněné rohože	Výztuž ze skelného textilu (Yplast 35)
Tepelná odolnost °C	-40 až +70	-40 až +60
Pevnost v tahu kg/cm ²	700	2000
Pevnost v ohybu "	1000	2000
Rázová houževnatost kgcm/cm ²	50	60
Modul pružnosti kg/cm ²	57 000	70 000
Součinitel tepelné vodivosti kcal/m.h.°C	0,055	0,060

běžně užívá k zastřešení průmyslových objektů, jak ukazují i statistická data o podílu laminátových krytin v celkové výrobě polyesterových laminátů podle tab. 29.

Tabulka 29.

Země	Podíl laminátových krytin v % celkové produkce laminátů
Francie	70%
Itálie	50%
NSR	44%
Anglie	30%
USA	15%

Ekonomicky výhodné je použití těchto krytin i u objektů dočasného účelu (výstaviště, skladiště) pro úsporu v nosné konstrukci a rychlou montáž a demontáž.

Krytiny se kladou na střešní konstrukci a připevňují se tak, aby byla umožněna tepelná dilatace. Maximální vzdálenost krokvi je 110 cm, separační a ochranný celofán se snímá těsně před uložením desek na místo.

Přehled nejvíce rozšířených druhů laminátových střešních krytin domácích i zahraničních ukazuje tabulka 31, str. 136.

Některé vlastnosti našich polyesterových laminátových desek (Plastiver-Plastimat Praha) uvádí tabulka 30.

Tabulka 30

Vlastnost	Výztuž ze skleněné rohože	Výztuž ze skelného textilu (Yplast 35)
Propustnost denního světla %	80 - 90	50 - 70
Měrná váha t/m ³	1,5	1,6-1,7
Váha 1m ² desky o tloušťce	1,3-1,6mm 2,2-2,3kg	1mm 1,95 kg

Pokračování tab.30.

Vlastnost	Výztuž ze skleněné rohože	Výztuž ze skelného textilu (Yplast 35)
Tepelná odolnost °C	-40 až +70	-40 až +60
Pevnost v tahu kg/cm ²	700	2000
Pevnost v ohybu "	1000	2000
Rázová houževnatost kgcm/cm ²	50	60
Modul pružnosti kg/cm ²	57 000	70 000
Součinitel tepelné vodivosti kcal/m.h.°C	0,055	0,060

Přehled nejvíce rozšířených druhů laminátových střešních krytin

Země	Druh vlny	Profil v mm		Formát mm		Výrobce	Název výrobku	Poznámka
		vzdálenost vrcholů	výška vlny	délka	šířka			
ČSSR	28 # 100 	100	28	1250 1500 2250	752	Plastimat	Plastiver	
	57 # 177 	177	57	1250 1600 1800	753	Plastimat	Plastiver	azbesto- cementový typ vln
	10 # 30 	30	10	1950	725	Plastimat	Plastiver	dekorační vlnovky
USA	16 # 76 	76	16	2440 1900 1220	1064	FILON	FILON	
	48 # 146 	146	48	3050 2440 1840	1054	FILON	FILON	
	50 # 152 	152	50	3050 2440 1840	970	FILON	FILON	
	6 # 32 	32	6	2440 1900 1220	950	FILON	FILON	
	15 # 102 	102	15	2440 1900 1220	950	FILON	FILON	
NSR	13 # 76 	76	18	7000	960	Lamilux- Werk	LAMILUX	
	27 # 100 	100	27	6000	960	Lamilux- Werk	LAMILUX	
	30 # 130 	130	30	6750	1020	Lamilux- Werk	LAMILUX	
	51 # 177 	177	51	6750	920	Lamilux- Werk	LAMILUX	
	3 # 30 	30	8			Lamilux- Werk	LAMILUX	dekorační typ
	18 # 75 	75	18	1200	6000	Lamilux- Werk	LAMILUX	v rolích s příčnými vlnami
	7 # 30 	30	7	1050	4000	Lamilux- Werk	LAMILUX	v rolích s příčnými vlnami
	15 # 60 	60	15	1200	6000	Lamilux- Werk	LAMILUX	v rolích s příčnými vlnami

8. Zpracování plastických hmot

Zpracování plastických hmot se liší podle toho v jaké jsou formě (folie, tyče, trubky, desky). Jde zejména o způsob tvarování a spojování.

8.1. Ohýbání

Ohýbáním se zhotovují konstrukční dílce a předměty z polotovaru převážně na bázi termoplastů, např. desek, trubek a tyčí z polyvinylchloridu, polyetylenů, polypropylenu, polyisobutylenu atd.

Z termosetických hmot lze do větší míry ohýbat tvrzený papír, textil i dřevo v deskách do tloušťky asi 2 mm. V obojím případě předchází ohýbání hmoty její předehřátí na teplotu přiměřeného změknutí (90-130°C). K zahřívání je nejlépe použít kapalinovou lázeň, případně přímý plamen plynového hořáku.

8.1.1. Ohýbání trubek

Aby se trubka z plastické hmoty, např. z PVC, polyetylenů atd. mohla ohnout do ostrého úhlu bez nebezpečí, že se utvoří záhyby a dojde k zúžení profilu v místě ohnutí, musí se vyplnit pískem, spirálovou pružinou, tlakovou hadicí a pod. Písek se do trubky vpěchuje předehřátý a konec trubky se utěsňuje korkovou zátkou. Pokud se jako výplně použije kovové pružiny nebo tlakové hadice, musí být jejich průměr asi o 2 až 3 mm menší než vnitřní průměr trubky. Do žádaného tvaru se trubka ohne na přípravku (šabloně) tak, aby po celé spodní (vnitřní) ploše byla opřena (obr.28). Nakonec se ohnutá trubka dokonale prochládí vodou.

8.1.2. Ohýbání desek a tvrdých folií

I když se tenčí desky z některých hmot, např. polyvinylchloridu nebo vulkanfibru dají ohnout do ostřejších úhlů i bez předchozího zahřátí, nelze tento postup doporučovat, neboť se při něm

zpravidla poruší vnitřní struktura a tím i pevnost hmoty.

U PVC se projeví násilné ohnutí za studena změnou barvy materiálu, t.j. zbledením v místě ohybu. Hmoty ohnuté za studena nemají tvarovou paměť. Poloměr ohybu má být nejméně dvojnásobkem tloušťky materiálu, přičemž hmotu je nutno zahřát v sířce odpovídající 3-6ti násobku tloušťky.

Folie a desky určené k ohnutí v ostré hraně se zahřívají při kládáním horkých kovových lišt nebo zahříváním plamenem za použití ochranných pásů z mokrého osinku. Ohybání folií a desek v širších plochách, např. trubních pláštů, vypouklých ploch a pod. slouží speciální přípravky, zhotovené podle potřeby (obr. 29).

Materiál, který byl zpracován ohybáním za tepla nelze vzhledem k jeho tvarové paměti v místě ohybu dále zpracovávat svařováním (snaha materiálu vracet se při novém zahřátí do původního tvaru).

8.2. Spojování plastických hmot

8.2.1. Lepení

Lepení plastických hmot je způsob nerozbitelného spojování, při němž se dvě plochy pevně spojí tenkou vrstvou lepidla, které se mezi ně nanese nebo které vznikne rozpouštěním povrchových vrstev spojovaných ploch. Vytvoření lepeného spoje je podmíněno jednak přílnavostí částic lepidla k povrchu hmoty (adhezí), jednak jejich soudržností (kohezí). Stavba a tedy i konečné vlastnosti lepeného spoje závisí na druhu lepeného materiálu, na druhu lepidla a na podmínkách zpracování.

Lepením se mohou spojovat konstrukční dílce a předměty z termoplastických i termosetických hmot, např. výlišky, odlitky, desky a trubky podle druhu lepidla buď za studena, nebo za tepla. Jednotlivé způsoby lepení vyplývají z charakteru lepených hmot:

a) Lepení pomocí rozpouštědel lepené hmoty. Lepidlem je rozpouštěním rozpouštěním povrchu. Vhodné pro něk-

teré termoplasty.

b) Lepení pomocí monomerů. Lepidlem je jednak monomer sám, který za přítomnosti iniciátoru polymeruje, jednak roztok, vznikající současně rozpouštěním povrchu lepené hmoty. Vhodné jen pro některé termoplasty.

c) Lepení pomocí roztoků speciálních syntetických pryskyřic. Použitelné pro termosety i termoplasty.

8.2.1.1. Lepení termoplastů

Termoplasty se lepí všemi prve uvedenými způsoby:

a) Prostřednictvím rozpouštědel. Přehled nejdůležitějších rozpouštědel vhodných k lepení termoplastů je uveden v tab. 32

Tabulka 32:

Hmota	Rozpouštědlo
Acetát celulozy	Aceton, chloroform, metyletylketon
Acetobutyrate celulozy	Aceton, chloroform, etylacetát, butylacetát
Etylceluloza	Aceton, směs benzen-alkohol 8:2
Nitrát celulozy	Aceton, metylacetát, etylacetát, směsi acetonu s alkoholem
Polyamid	Za horka kyselina mravenčí, fenol, kresol, anilin
Polyizobutylene	Benzin, benzen, toluen, chlorbenzen, tetrachlorometan
Polykarbonáty	Metylenchlorid, benzen, toluen, ketony, acetáty
Polymethylmetakrylát	Chloroform, dichloretylen, metylacetát, ledová kyselina octová, metylmetakrylát, směs chloroformu s acetonem 1:1
Polystyren	Benzen, toluen, aceton, metylacetát, dichloretylen
Polyvinylacetát	Aceton, etylalkohol, metylacetát, etylacetát, benzen, toluen, chlorované uhlovodíky

Pokračování tabulky 32.

Hmota	Rozpouštědlo
Polyvinylbutyral	Izopropylalkohol, fural, cyklohexanon, metylacetát, etylacetát, chlorované uhlovodíky
Polyvinylformaldehyd	Cyklohexanon, dioxan, dichlorethan, metylenchlorid, kyselina octová
Polyvinylchlorid	Cyklohexanon, tetrahydrofuran
Polyvinylchlorid-acetát (kopolymer)	Cyklohexanon, acetonylaceton, mesityloxyd
Polyvinylkarbazol	Benzen, toluen, xylen

b) Pomocí monomerů. Tohoto způsobu se používá v menším měřítku např. pro lepení blokového polymetylmetakrylátu. Monomer, například metylmetakrylát je iniciován pro polymeraci za zvýšených teplot dibenzoylperoxydem nebo za normální teploty kyselinou p-toluensulfínovou a dibenzoylperoxydem.

c) Pomocí roztoků syntetických pryskyřic. V tomto případě lze používat buď přímo roztoků lepené hmoty v rozpouštědlech uvedených ad a), popř. ve směsi se změkčovadly, nebo roztoků a předpolymerů jiného typu pryskyřic. V tabulce 33 jsou uvedena nejvýznamnější lepidla, založená na bázi jiných pryskyřic.

8.2.1.2. Lepení termosetů

K lepení termosetů slouží především speciální lepidla na podkladě tvrditelných pryskyřic, jejichž tvržení se dosáhne buď účinkem zvýšené teploty, nebo za studena přidávkou katalysátoru (tvrdidla). Termosety se však mohou lepit i lepidly založenými na bázi termoplastů. Přehled lepidel, vhodných pro lepení termosetů je uveden v tab. 33.

Lepená hmota	Lepidla na bázi přírodního kaučuku	polychloroprenu	chlorkaučuku	Chlorovaného PVC	Kopolymery vinylchloridu	polyvinylacetátu	esterů kyseliny akrylové	esterů kyseliny metakrylové	nitrátu celulosy	epoxydů	polyuretanů	fenolových a resorcino- vých pryskyřic	močovinových a melamino- vých pryskyřic
Aminoplasty (vrstvené a vylisky)	3	3-2	3-2	3	3-2	3-2	3-2	3-2	3	1	1	3-2	3-2
Epoxydy (vrstvené a lité)	3	3-2	3	-	-	3-2	3-2	3-2	3-2	1	-	-	4
Fenoplasty (vrstvené a vylisky)	3	3-2	3-2	3	3	3-2	3-2	3-2	4-3	1	1	2-1	3-2
Polyestery (vrstvené a lité)	3	3-2	3	-	-	3-2	3-2	3-2	3-2	-	2-1	3-2	4
Acetát celulosy (cellon)	4	3-2	4	4-3	3-2	2-1	3-2	3-2	4-3	3	3-2	4-3	4-3
Nitrát celulosy (celuloid)	4	3-2	4	4	2-1	2-1	2	2-1	1	2	2	4-3	4-3
Polyamid	4	3	4	4	4	4-3	3	4-3	4-3	4-2	3-2	3	4-3
Polyetylen	3	3	4	4	4	4	4-3	3	4	4	4-3	4-3	4
Polymethylmetakrylát	4-3	3	2	2-1	2-1	2-1	1	1	2-1	2	2	2	3
Polystyrén	4-3	3	4-3	4	4	4	2-1	2-1	4	4-3	4-3	4-3	4
Polyvinylchlorid tvrdý	4-3	2-1	2	2-1	2-1	4	3-2	2	4	4-3	2-1	4	4
Polyvinylchlorid měkčený	4	2	3-2	2	2	4	3-2	3-2	4	4	2-1	4	4
Vulkanfibr	4	3-2	4	4	4	4-2	3	4-3	4	3-2	2	3-2	3-2
Pryž	2-1	2-1	3	4	4	4	3-2	4-2	4-3	3-2	2-1	4-3	4

Vysvětlivky: Pevnost lepení (stupeň adheze) - 1- velmi dobrá; 2- dobrá; 3 - uspokojivá; 4 - nedostatečná

8.2.1.3. Postup lepení

Principy lepení plastických hmot lze shrnout do několika obecně platných směrnic:

- a) Lepicí směs (t.j. konečná forma lepidla s katalysátorem, plnivem a pod.) se nanáší v přiměřeném množství ($90-150\text{g/m}^2$) zpravidla na obě spojované plochy tak, aby nános byl rovnoměrně rozložen a mohl tak vzniknout souvislý film lepidla ve spoji. Platí pravidlo, že čím je film lepidla tenčí, tím pevnější je spoj.
- b) Lepidlo musí dokonale smáčet oba lepené povrchy a vytvořit tak podmínky pro vznik specifické adheze. Povrch slepovaných hmot proto má být především rovný (nebo musí oba povrchy do sebe přesně zapadat) a nesmí být znečištěn mastnotou, prachem, vlhkostí, změkčovadly a pod. Některé nepolární hmoty jako pryž a především polyetylen a polypropylen se musí před slepováním podrobit předběžné úpravě povrchu oxidací, která se provede buď chemicky (kyselinou chromsírovou), nebo krátkodobou tepelnou expozicí (horkým vzduchem, plamenem nebo ozářením). Zdrsnování nebo obrušování povrchu plastických hmot před lepením se obvykle dělá jen u vrstvených hmot a výlisků, kdy je třeba sejmut tenkou vrstvičku, obsahující vosky a mazivo. Při lepení termoplastů lepidly na bázi jiných termoplastických pryskyřic se pro lepidlo musí volit oběma hmotám společné rozpouštědlo. Zásadně proto nepoužívejme tzv. universálních lepidel neznámého složení.
- c) Plochy opatřené lepidlem se přiloží k sobě dříve, než nános zaschne nebo zpolymeruje. Ve spáře nesmějí být uzavřeny vzduchové bubliny. Pokud lepidlo neztuhne, musí být oba dílce zajištěny proti posunutí tlakem do 35 kg/cm^2 . Tlak napomáhá pouze dokonalému rozložení lepidla ve spáře, event. jeho čas-

tečnému proniknutí pod povrch u pórovitých hmot. Je proto zbytečné tlak zvyšovat nad uvedený limit a riskovat, že dojde k destrukci hmoty.

- d) Lepidlo musí v konečné fázi ztuhnout v pevnou hmotu. Při použití lepidel tvrdnoucích za zvýšené teploty se nesmí přestoupit hranice tepelné odolnosti slepované plastické hmoty. Zpracování rozpouštědlových lepidel předpokládá zpravidla dodržení zásady, že nejméně jedna ze slepovaných ploch musí být pórovitá nebo musí připouštět difuzi rozpouštědla, aby vůbec došlo ke ztužení spoje. Při lepení dvousložkovými lepidly je třeba přesně dodržovat poměry míšení lepidla s tvrdidlem podle předpisu výrobce. Při práci se syntetickými lepidly je třeba mít na zřeteli i teplotu pracoviště. Zvýšená teplota zkracuje životnost lepicích směsí, lepidla houstnou a obtížně se zpracovávají. Naopak příliš nízké teploty životnost směsí sice prodlužují, avšak způsobují také, že lepidlo tvrdne ve spáře neúměrně dlouhou dobu. Optimální teplota pro nánášení lepicích směsí je asi 15-18°C. Optimální teplota pro vytvrzování lepidel za normální teploty je 20-25°C, event. i vyšší, podle povahy lepidla.

Tekutá lepidla se nanášejí štětcem, vrubovanou stěrkou nebo mazacím strojem.

8.2.2. Svařování

Svařování plastických hmot je spojení působením tepla příp. i tlaku, někdy s přidáním plastické hmoty stejného druhu nebo podobného složení. Technologicky je vyvinuto pět základních způsobů svařování: horkým plynem,

dotykovým teplem

třením

vysokofrekvenční

ultrazvukem.

Pro stavebnictví přicházejí v úvahu jen dva způsoby, vyjimečně při navařování přírub na trouby může být použito továrně i způsobu svařování třením. Svařovat samozřejmě lze jen hmoty termoplastické, např. polyetylen, PVC, polymethylmetakrylát, polyamidy, polyisobutylene, polystyren.

8.2.2.1. Svařování horkým plynem

Svařovaný materiál se zahřívá proudem horkého inertního plynu dmychaného ze svařovacího přístroje přímo v místě styku ploch, které mají být spojeny. Povrchové vrstvy svařované hmoty přitom změkknou a spojí se materiálem přidavného drátu nebo účinkem tlaku v jediný celek.

Svařovací přístroje jsou konstruovány na plynový nebo elektrický ohřev.

Pro plynové svařovací přístroje se může použít směs vodík-vzduch, svítiplyn-vzduch a acetylén-vzduch. Naprosto nelze nahradit vzduch kyslíkem. Pro každou směs se volí tryska vhodné velikosti.

Tam, kde se nesmí pracovat s otevřeným plamenem, používá se svařovacích přístrojů zahříváných elektricky, při napětí 24 V.

Přidavný drát má být pokud možno ze stejné hmoty jako svařovaný předmět. Běžně se vyrábí přidavný drát polyvinylchloridový, kruhového průřezu 2 až 5 mm, v kusech od 1 do 1,5 m délky. Na přání může být dodán v cívkách. Tolerance $\pm 10\%$ tloušťky drátu jsou úmyslné a přinášejí zpracovateli výhodu v tom, že si může vybrat nejvhodnější tloušťku přidavného drátu pro daný typ svaru.

Při svařování plastických hmot horkým plynem se vyskytují podobné typy svarů jako při autogenním svařování kovů. Volba svaru se řídí tvarem předmětu, tloušťkou svařovaného materiálu a přístupností svařovaného předmětu ze stran. Jednotlivé typy svarů jsou uvedeny na obr. 30.

Obř. 30.

Typy osvědčených svarů.

a-normální svar pro tenčí desky, b-svary typu X pro tlustší desky, oboustranně přístupné, c₁-c₄ rohové svary, d₁-d₃ koutkové svary, e₁-e₄ svary pro spojování trubek a přírub

Příprava svaru spočívá především ve správném provedení úkosů hran. U desek do 5 mm tloušťky mají zkosené hrany svírat úhel 60°, u tlustších desek až 70°.

Zešikmení hran musí být vyvedeno do ostří. Styčné plochy nutno zbavit mastnoty, prachu a nerovností.

Provedení svaru předpokládá správnou teplotu plynu při ústí přístroje. Dosažení obvyklé teploty 200 až 280°C se snadno zjistí pomocí cigarety, která v daném případě vzplane během 6 až 7 vteřin. Před položením prvního svaru se svařovaný materiál vhodně podkládá, aby se předešlo kroucení celku na opačnou stranu. Svar je zahájen položením tzv. kořene do vrcholu spáry. Mezi hranami svařovaných dílců se ponechá asi 1 mm široká spára.

Svařování horkým plynem je především záležitostí dostatečného cviku. Musí se však zachovávat tyto zásady:

1. rovnoměrné zahřívání spáry a drátu kruhovými pohyby svařovacího přístroje,
2. zachování přiměřeného sklonu ústí přístroje (pro tenčí desky 30°, pro tlustší (nad 5 mm) asi 45°),
3. kolmé postavení přidavného drátu k podélné ose spáry,
4. správný odhad tlaku na přidavný drát (1-3 kg, podle průřezu drátu),
5. před položením dalších vrstev přidavného drátu se musí zbavit předchozí vrstvy otřepu a přepálenin.

Pro stavebnictví přicházejí v úvahu jen prvý a poslední dva způsoby, vyjimečně při navařování přírub na trouby může být použito továrně i způsobu svařování třením. Svařovat samozřejmě lze jen hmoty termoplastické, např. polyetylen, PVC, polymethylmetakrylát, polyamidy, polyisobutylene, polystyren.

8.2.2.1. Svařování horkým plynem

Svařovaný materiál se zahřívá proudem horkého inertního plynu dmychaného ze svařovacího přístroje přímo v místě styku ploch, které mají být spojeny. Povrchové vrstvy svařované hmoty přitom změkknou a spojí se materiálem přídavného drátu nebo účinkem tlaku v jediný celek.

Svařovací přístroje jsou konstruovány na plynový nebo elektrický ohřev.

Pro plynové svařovací přístroje se může použít směsí vodík-vzduch, svitplyn-vzduch a acetylen-vzduch. Naprosto nelze nahradit vzduch kyslíkem. Pro každou směs se volí tryska vhodné velikosti.

Tam, kde se nesmí pracovat s otevřeným plamenem, používá se svařovacích přístrojů zahřívanych elektricky, při napětí 24 V.

Přídavný drát má být pokud možno ze stejné hmoty jako svařovaný předmět. Běžně se vyrábí přídavný drát polyvinylchloridový, kruhového průřezu 2 až 5 mm, v kusech od 1 do 1,5 m délky. Na přání může být dodán v cívkách. Tolerance ±10% tloušťky drátu jsou úmyslné a přinášejí zpracovateli výhodu v tom, že si může vybrat nejvhodnější tloušťku přídavného drátu pro daný typ svaru.

Při svařování plastických hmot horkým plynem se vyskytují podobné typy svarů jako při autogenním svařování kovů. Volba svaru se řídí tvarem předmětu, tloušťkou svařovaného materiálu a přístupností svařovaného předmětu ze stran. Jednotlivé typy svarů jsou uvedeny na obr. 30.

Obř. 30.

Typy osvědčených svarů.

a-normální svar pro tenčí desky, b-svary typu X pro tlustší desky, oboustranně přístupné, c₁-c₄ rohové svary, d₁-d₃ koutové svary, e₁-e₄ svary pro spojování trubek a přírub

Příprava svaru spočívá především ve správném provedení úkosů hran. U desek do 5 mm tloušťky mají zkosené hrany svírat úhel 60° u tlustších desek až 70°.

Zešikmení hran musí být vyvedeno do ostří. Styčné plochy nutno zbavit mastnoty, prachu a nerovností.

Provedení svaru předpokládá správnou teplotu plynu při ústí přístroje. Dosažení obvyklé teploty 200 až 280°C se snadno zjistí pomocí cigarety, která v daném případě vzplane během 6 až 7 vteřin. Před položením prvního svaru se svařovaný materiál vhodně podkládá, aby se předešlo kroucení celku na opačnou stranu. Svar je zahájen položením tzv. kořene do vrcholu spáry. Mezi hranami svařovaných dílců se ponechá asi 1 mm široká spára.

Svařování horkým plynem je především záležitostí dostatečného cviku. Musí se však zachovávat tyto zásady:

1. rovnoměrné zahřívání spáry a drátu kruhovými pohyby svařovacího přístroje,
2. zachování přiměřeného sklonu ústí přístroje (pro tenčí desky 30°, pro tlustší (nad 5 mm) asi 45°),
3. kolmé postavení přídavného drátu k podélné ose spáry,
4. správný odhad tlaku na přídavný drát (1-3 kg, podle průřezu drátu),
5. před položením dalších vrstev přídavného drátu se musí zbavit předchozí vrstvy otřepu a přepálenin.

Při splnění optimálních podmínek lze ve svaru dosáhnout 70 až 80% pevnosti původního materiálu.

8.2.2.2. Vysokofrekvenční svařování

Vysokofrekvenční svařování je metoda, při níž se potřebné teplo vyvozuje proudem vysokého kmitočtu (vysokofrekvenčním generátorem).

Při tomto způsobu svařování se vloží mezi dvě kovové elektrody, zapojené na střídavé napětí, plastická hmota, materiál se ohřívá, ale elektrody zůstanou studené. Ohřev způsobuje přeskupování molekul v hmotě působením polarizace elektrického pole.

Čím větší je rychlost pohybu molekul, tím vyšší je teplota materiálu. Teplo se vyvíjí v celém průřezu hmoty stejnoměrně, takže oba dílce velmi rychle změknou a jejich spojení se dosáhne působením tlaku prostřednictvím pomocného zařízení. Tento způsob se hodí zejména pro spojování folií. Optimální teplota podle druhu materiálu se pohybuje od 140 do 200°C, pro folie Izofol B (PVC) 140-160°C. Při této teplotě stačí folii mírně stlačit na 1 až 3 vteřiny.

K vysokofrekvenčnímu svařování plastických hmot byla vyvinuta řada speciálních přístrojů, které se od sebe liší uspořádáním elektrod a aplikací tlaku. U nás vyrábí takováto zařízení n.p. TOS-Rychnov n.Nisou.

Spoje se provádí buď přeplátováním nebo na tupo (obr. 31). Při přeplátování dosahují spoje 80-85% pevnosti původní folie, při způsobu na tupo nejvýše 50%.

Obr. 31.

Způsoby sváření folií Izofol

a) přeplátováním, b) na tupo

9. Plastbetony

Každá konstrukce, kromě namáhání vnějšími silami, je vystavena ve větší či menší míře působení fyzikálně-chemických vlivů okolního prostředí.

Dosavadní stavební materiály - cihly, beton a pod. odolávají takovým vlivům různě; většinou je třeba v prostředí více útočných je dodatečně chránit. Isolace je nákladná a často převyšuje i náklad na vlastní konstrukci, vzdorující vnějšímu namáhání. Je proto zcela přirozeným následkem snaha o spojení obou požadovaných funkcí, nosné i isolační, do jednoho materiálu.

Plastické hmoty jsou jedinečným pomocníkem na této cestě. Jestliže jsou plastické hmoty použity jako přísada pojiva (jedna ze složek) tradičních cementových malt a betonů, nazývají se tyto materiály polymerbetony (nebo polymerobeton). Pro materiály, v nichž je jediným pojivem plastická hmota, užívá se název plastbeton.

9.1. Výběr vhodných plastických hmot

Pro volbu nejvhodnějších plastických hmot k použití jako pojiva konstrukčně isolačního materiálu je pochopitelně rozhodující celá řada hledisek. Jsou to zejména: druh výchozích surovin, základní technické vlastnosti, chování při zahřívání, chemická struktura hlavního řetězce, způsob vytvrzování, surovinové zdroje v ČSSR, složitost výroby, spotřeba energie, perspektivní cena, mechanicko-fyzikální vlastnosti, antikoroční odolnost, atd.

Vzhledem k danému účelu použití mm-hmot jsou rozhodnutí podle některých hledisek evidentní. Tak nebudou zřejmě využívány hmoty, vyrobené z přírodních mm-látek, ale pouze hmoty vyrobené synteticky z jednoduchých nízkomolekulárních sloučenin.

Většinou nebudou přicházet v úvahu elastomery pro nadměrnou velikost svých, buď pružných, deformací. Vzhledem k požadavkům na tuhost konstrukčních hmot budou využívány z tohoto hlediska zvláště plastomery, přičemž hlavním úkolem zde bude omezit jejich nepružné tečení.

Charakter použití určuje výběr mm-hmot podle jejich chování při zahřívání. Ač v některých zvláštních případech mohou být použity termoplasty, t.j. hmoty, které působením tepla měknou a ochlazením znovu tuhnou i při mnohonásobném opakování, budou pro konstrukční materiál využitelné převážně termosety, t.j. hmoty, ve kterých působením tepla se urychluje nebo způsobuje vytvrzení, v důsledku jehož přechází nevratně do nerozpustného a netavitelného stavu.

Z hlediska chemické struktury je výběr vázán především okamžitým stavem teoretických poznatků mm-chemie a zejména jejich rozpracováním do výrobní praxe. Z dosud prakticky dostupných mm-hmot je možné zatím uvažovat jen C-plasty, zvláště křemíkové (C-C-plasty), karboxyplasty (C-O-plasty), karbonatriplasty (C-N-plasty) a karbosiloplasty (C-Si-plasty). Je pravděpodobné, že další využitelnou mm-hmotou budou Si-plasty, zvláště siloxyplasty (Si-O-plasty).

Druh chemické reakce, kterými vznikají mm-hmoty (způsob vytvrzování) nemá při výběru rozhodující význam. Pro konstrukční plněné materiály by pravděpodobně byly nejvýhodnější mm-hmoty, vzniklé polymerací¹⁾ nebo polyadicí²⁾, neboť při nich nevznikají ob-

1) Polymerace-reakce řetězového charakteru, při níž spojováním molekul vzniká polymerací produkt stejného elementárního složení jako výchozí látka - monomer.

2) Polyadice-reakce při níž vzniká mm-hmota adicí výchozích látek s vhodnými funkčními skupinami. Nevznikají přitom vedlejší jednoduché sloučeniny a složení konečného produktu se neliší od výchozí směsi.

tižné reakční produkty, jako při polykondensaci¹⁾. Takové vedlejší reakční produkty (např. voda) obvykle snižují některé mechanicko-fyzikální vlastnosti a je třeba uvažovat o jejich dodatečné chemické vazbě v materiálu vhodnými přísadami.

Pro naše účely je velmi vhodná modifikace²⁾, která umožňuje dosáhnout materiálů s širokým rejstříkem fyzikálně-mechanických vlastností. Závadou přitom je obvykle velká pracnost, neúměrně zdražující výsledný produkt. Z toho důvodu bývá výhodnější kopolymerace, t.j. pochod, při kterém za účelem úpravy některých fyzikálně-mechanických vlastností probíhá současně polymerace (nebo polyadice či polykondensace) dvou nebo více různých monomerů. Zvláště výhodné jsou v některých případech takové kopolymerace, u nichž polymerace jednotlivých monomerů je poněkud časově posunuta.

Důležitým kritériem pro výběr vhodných mm-hmot je způsob vytvrzování. Pro technickou stavební praxi jsou nejvhodnější mm-hmoty, tvrdnoucí za normálního tlaku a normální anebo mírně zvýšené teploty.

S uvážením předchozích aspektů přichází do další úvahy některé mm-hmoty ze skupiny fenoplastů a aminoplastů, polyesterů, epoxydové a furanové pryskyřice.

Všimneme-li si ještě dalších hledisek výběru vpředu uvedených, jako jsou surovinové zdroje v ČSSR, složitost výroby a spotřeba energie při výrobě a s tím související perspektivní cena, mechanicko-fyzikální i antikoroční vlastnosti, dospějeme zejména k těmto hmotám:

1) Polykondensace - reakce při níž reagují molekuly jedné nebo několika různých nízkomolekulárních látek (za současného vzniku vedlejších jednoduchých sloučenin, např. vody) a vytvářejí mm-hmoty, které svým složením se liší od složení výchozích látek.

2) Modifikace-postup při němž se různým způsobem mísí dva nebo více druhů polymerů (mechanické míšení, roubování polymerů, ozařování gama paprsky a pod.) ke zlepšení některých mechanických, antikoročních či jiných vlastností.

fenolformaldehydové pryskyřice
fenolfuralové pryskyřice
fuolfuralové pryskyřice
furylalkoholové (furolové) pryskyřice
ligninové pryskyřice
močovinoformaldehydové pryskyřice
polyesterové pryskyřice
epoxydové pryskyřice.

Po předběžných informativních zkouškách byly u nás sledovány fenolformaldehydové, furolalkoholové, fuolfuralové, polyesterové a epoxydové pryskyřice, z nichž nejpodrobnější obě pryskyřice furanové, které se ukázaly v souhrnu svých vlastností optimálními. Pro plastbetony s furanovým pojivem vžil se již název berol.

9.2. Technologie plastbetonů

Plastbetony podobně jako betony se skládají z písku a štěrku o velikosti zrn od 0 do 3-10 cm, které se mísí společně s pojivem (monomerním pryskyřicím, katalysátorem, urychlovačem) až vznikne stejnoměrná směs, kterou se zaplňují formy. Ve formách se směs zpracuje (pěchuje, stráhá a pod.) a ponechá se pak v klidu, v suchém a teplém prostředí, až proběhne polymerační či polykondenzační reakce pojiva a pojivoztvrdne. Plastbeton můžeme tedy považovat stejně jako beton za zdivo, po zhotovení jednolitě, beze spár, monolitické. Stejně, vlastně lépe, můžeme vyrábět různé dílce, z nichž se pak zdí, obkládá, sestavuje.

Od betonu se liší plastbetony kromě jiného poměrným množstvím pojiva. U betonu je váhové množství pojiva (cementu) v průměru 1/5 ostatních složek, u plastbetonů je toto množství v průměru 1/12 - 1/15 váhy ostatních složek.

Tvrdnutí plastbetonů je možno regulovat obvykle v širokých mezích (od několika hodin do měsíců); proto zvláště výhodné je použití plastbetonů v prefabrikaci, kde je možno docílit vysoké obratovosti forem při nepříliš náročných podmínkách ošetření - teplým, suchým vzduchem. Pro to se hodí ovšem jen plastické hmoty, které tvrdnou při normálních ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) nebo mírně zvýšených teplotách (do 60°C). U některých plastbetonů přistupuje ještě výhoda plynoucí z možnosti zužitkování různých odpadů pro výrobu pryskyřice.

Cena plastbetonů v závislosti od ceny pojiva, bude pravděpodobně vyšší než cena betonu, z čehož vyplývá, že plastbetony nemohou - a ani nechtějí - být universální náhradou betonu. Dávají však pozoruhodné možnosti využití tam, kde beton sám nevyhoví daným požadavkům a jiné způsoby výroby (např. zdivo, těžké izolace) jsou velmi pracné. Přitom je zejména cenné podstatné snížení pracnosti a výrazné zvýšení produktivity práce.

Ač plastbetony mají daleko příznivější poměr tahové a tlakové pevnosti (průměrně 1/5) proti betonu (průměrně 1/10), jsou svým charakterem přece jen materiály křehké. Vyztužování plastbetonů ocelí, ale i jinými materiály (např. sklem, v betonu dosud neúspěšné) umožní jejich universální využití. Pro jeho vysokou pevnost v tlaku a zejména v tahu i v soudržnosti s výztuží, bude možno využít i daleko kvalitnějších druhů výztuže. Při namáhání ohyben bude zřejmě možno počítat se spolupůsobením tažené části průřezu, což souvisí se snížením potřebného množství výztuže.

Tyto činitele, spolu s vysokou chemickou odolností a vodo- nepropustností dávají solidní základ k vážné konkurenci plastbetonů dosud užívaným materiálům a výrobním technikám v řadě speciálních případů. Mohou se z nich vyrábět rozličné výrobky jako dlaždice, obkladové desky, trouby, nádržky i nejrůznější

fenolformaldehydové pryskyřice
fenolfuralové pryskyřice
fuolfuralové pryskyřice
furylalkoholové (furolové) pryskyřice
ligninové pryskyřice
močovinoformaldehydové pryskyřice
polyesterové pryskyřice
epoxydové pryskyřice.

Po předběžných informativních zkouškách byly u nás sledovány fenolformaldehydové, furolalkoholové, fuolfuralové, polyesterové a epoxydové pryskyřice, z nichž nejpodrobnější obě pryskyřice furanové, které se ukázaly v souhrnu svých vlastností optimálními. Pro plastbetony s furanovým pojivem vžil se již název berol.

9.2. Technologie plastbetonů

Plastbetony podobně jako betony se skládají z písku a šterku o velikosti zrn od 0 do 3-10 cm, které se mísí společně s pojivem (monomerem pryskyřice, katalysátorem, urychlovačem) až vznikne stejnoměrná směs, kterou se zaplňují formy. Ve formách se směs zpracuje (pěchuje, strásá a pod.) a ponechá se pak v klidu, v suchém a teplém prostředí, až proběhne polymerační či polykondenzační reakce pojiva a pojivo ztvrдне. Plastbeton můžeme tedy považovat stejně jako beton za zdivo, po zhotovení jednolitě, běže spár, monolitické. Stejně, vlastně lépe, můžeme vyrábět různé dílce, z nichž se pak zdí, obkládá, sestavuje.

Od betonu se liší plastbetony kromě jiného poměrným množstvím pojiva. U betonu je váhové množství pojiva (cementu) v průměru 1/5 ostatních složek, u plastbetonů je toto množství v průměru 1/12 - 1/15 váhy ostatních složek.

Tvrdnutí plastbetonů je možno regulovat obvykle v širokých mezích (od několika hodin do měsíců); proto zvláště výhodné je použití plastbetonů v prefabrikaci, kde je možno docílit vysoké obratovosti forem při nepříliš náročných podmínkách ošetření - teplým, suchým vzduchem. Pro to se hodí ovšem jen plastické hmoty, které tvrdnou při normálních ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) nebo mírně zvýšených teplotách (do 60°C). U některých plastbetonů přistupuje ještě výhoda plynoucí z možnosti zužitkování různých odpadů pro výrobu pryskyřice.

Cena plastbetonů v závislosti od ceny pojiva, bude pravděpodobně vyšší než cena betonu, z čehož vyplývá, že plastbetony nemohou - a ani nechtějí - být universální náhradou betonu. Dávají však pozoruhodné možnosti využití tam, kde beton sám nevyhoví daným požadavkům a jiné způsoby výroby (např. zdivo, těžké izolace) jsou velmi pracné. Přitom je zejména cenné podstatné snížení pracnosti a výrazné zvýšení produktivity práce.

Ač plastbetony mají daleko příznivější poměr tahové a tlakové pevnosti (průměrně 1/5) proti betonu (průměrně 1/10), jsou svým charakterem přece jen materiály křehké. Vyztužování plastbetonů ocelí, ale i jinými materiály (např. sklem, v betonu dosud neúspěšné) umožní jejich universální využití. Pro jeho vysokou pevnost v tlaku a zejména v tahu i v soudržnosti s výztuží, bude možno využít i daleko kvalitnějších druhů výztuže. Při namáhání ohybem bude zřejmě možno počítat se spolupůsobením tažené části průřezu, což souvisí se snížením potřebného množství výztuže.

Tyto činitele, spolu s vysokou chemickou odolností a vodonepropustností dávají solidní základ k vážné konkurenci plastbetonů dosud užívaným materiálům a výrobním technikám v řadě speciálních případů. Mohou se z nich vyrábět rozličné výrobky jako dlaždice, obkladové desky, trouby, nádržky i nejrůznější

prvky i konstrukce, jako potrubí, nádrže, dřílní stojky, podlahy, vodní stavby, základové konstrukce, vozovky a pod. Mohou být i svérázným materiálem dekoracním (reliefy, sochy a pod.).

Mají-li plastbetony na stavbě plnit různé úkoly, musí k tomu mít určité vlastnosti. Ty získají, postaráme-li se při jejich výrobě o výběr složek vhodného druhu a jakosti, o vyhovující poměr jejich míšení a volíme-li vhodný způsob zpracování a dalšího ošetření. Přitom je třeba zdůraznit, že u plastbetonů více jak u betonu všechny tyto okolnosti navzájem na sebe působí a nelze o žádné z nich rozhodovat odděleně. Na základě našich pozorování budou dále ukázány hlavní závislosti a důležité závěry o technologii plastbetonů.

9.3. Vlastnosti plniva

Pevnou kostru plastbetonu tvoří směs písku a štěrku. Protože se s využitím plastbetonů počítá především v agresivním prostředí, je třeba, aby štěrko písek byl kyselinovzdorný. Tento požadavek je nezbytný i proto, že ke katalýze pryskyřic se užívá útočných látek - kyselin případně zásad. Současně vyvstává pro kyselinami vytvrzované plastbetony potřeba neutrální nebo kyselé reakce kameniva. Nevhodné jsou tedy kamenné součásti, obsahující zásadité látky (především ve formě uhličitanů) jako vápence, některé pískovce, břidlice a pod. Méně škodlivé jsou látky, které štěrko písek znečišťují (jako jíla). Nejvýhodnější jsou proto čisté křemenné písky a štěrko písky nebo drcené štěrky z vyvřelin.

Váhové množství hlinitých částic nemá převýšit 3% váhy štěrko písku a váhové množství uhličitanů 0,05% váhy štěrko písku. Vliv uhličitanů na pevnost berolu ukazuje obr. 32.

Obr. 32.

Vliv obsahu uhličitanů v plnivu na pevnost berolu.

Dalším důležitým faktorem je vlhkost štěrko písku. K dosažení příznivých výsledků je třeba používat štěrko písek co nejsušší: jeho vlhkost by neměla přestoupit 0,2% váhy štěrko písku. Rychlost zhoršování pevnosti (a podobně i jiných vlastností) materiálu ukazuje další obrázek na příkladu berolu (obr. 33).

Obr. 33.

Vliv vlhkosti plniva na pevnost berolu

Pevnost v tlaku, houževnatost a odolnost obrusu kameniva

nají být dostatečné; tyto vlastnosti je třeba volit především podle způsobu namáhání plastbetonu.

U plastbetonů je možno dosáhnout vcelku vyrovnání pevnosti obou účastníků (plniva a pojiva), nikoliv však jejich stejné pružné stlačitelnosti. Pojivo má vždy podstatně (řádově) menší modul pružnosti než štěrko písek; tím nastává nestejně rozdělování napětí soustředováním do míst méně stlačitelných (s větším modulem pružnosti) a vznikají příčné tahy. Příznivě se zde přitom uplatní jednak zvýšená pevnost v tahu (proti cementové maltě), jednak zvýšené dotvarování (nebo relaxace), které poměrně rychle umožní účelnou redistribuci napětí. Tyto okolnosti se příznivě uplatní i při přenášení a redistribuci napětí od smršťování. V této souvislosti je třeba si uvědomit i výhodnou funkci jistého množství pórů, jisté pórovitosti.

Velikost zrn se řídí podobně jako u betonu rozněry konstrukce, případně mezerami mezi vyztužovacími tělesy. Největší zrna tak budou nejvýše 1/4 až 1/3 nejmenší světlosti mezi dvěma stěnami bednění a nejvýše 3/4 až 4/5 vzdálenosti želez. Nejmenší zrna jsou menší než u betonu, neboť je nutné nahradit v soustavě i nejjemnější složky, které v betonu zastupuje cement. Kromě písku se zrna do dvou až pěti milimetrů je třeba do směsi dodat i jisté množství moučky o velikosti 2-200 mikronů. Mikroplnivo

se znamenitě projeví zejména v příznivější vnitřní napjatosti, v menším smrštění a i. ve zmenšení nutného množství pojiva. Jako moučky se používají všechny druhy inertních plniv, např. křemičité moučky, grafit, uhelná nebo koksová moučka, sádrovec atd.

Pro tvár zrn platí stejné podmínky jako pro beton. Je možné s výhodou použít i různých umělých plniv, jako strusky, keramzitu a pod.

Skladování a odběr stěrko-písku je třeba podříditi pouze požadavku na minimální vlhkost směsi, jinak se řídí stejnými pravidly jako pro beton.

9.4. Vlastnosti pojiva

Spojovací složka šterku a písku - pojivo - je makromolekulární hmota, která postupně, po přidání iniciátoru případně urychlovače polykondensační nebo polymerační reakce, tvrdne. Reakce je silně exotermická.

Z pojiv, které přicházejí v této době v úvahu jsou to zejména pryskyřice polyesterové, epoxydové, fenol a močovinoformaldehydové a především furanové pryskyřice. Proč především furanové pryskyřice? Jednak pro jejich vysokou chemickou odolnost (jsou nadřazeny v tomto smyslu s výjimkou fluoroplastů prakticky všem plastickým hmotám), jednak jejich poměrně nízkou cenou (na světovém trhu podmíněném velkovýrobou jsou tyto pryskyřice nejlevnější) a konečně pro velké množství surovin prakticky nevyčerpatelných, protože stále vznikajících (dřevitých a zemědělských odpadů). Z furanových plastbetonů se nejlépe osvědčil plastbeton s pojivem furol-furalovým: aktivní složka pojiva je furylalkohol, spolukondensující složka s druhou funkcí urychlovače je furylaldehyd.

Vždy je třeba dodávat do směsi ještě katalysátor nebo iniciátor

reakce, často urychlovač. Nemá smyslu tyto otázky rozebírat, neboť jsou popsány v množství speciální, zejména patentové literatury. My jsme většinou používali katalysátory běžně dodávané našimi výrobci s výjimkou furanových pryskyřic, kde byla vyzkoušena celá řada katalysačních způsobů.

Smíchání monomeru s katalysátorem z počátku nemění podstatně jeho viskozitu. S rozvíjející polymerací nebo polykondensací se viskozita pryskyřice zvyšuje, přechází do kašovitého stavu, gumovitěho, čili tuhne a konečně se stává nepoddajnou, ztvrdne. Ze stavebního hlediska je důležitý počátek a konec tuhnutí i průběh tvrdnutí. Počátek tuhnutí neboli tzv. životnost směsi nemá být menší než 40-60 min; konec tuhnutí by měl být nejvýše 12 hod. od zamíchání směsi. Doba tuhnutí a tvrdnutí se ovlivňuje celou řadou činitelů, jako množstvím katalysátoru, urychlovače, teplotou a vlhkostí prostředí, závisí na poměrném objemu tělesa, poměru plniva k pojivu. Přitom závisí též na jejich kombinaci. Spolehlivé zkoušky o začátku tuhnutí a tvrdnutí nejsou dosud stanoveny. U berolu dobrým měřítkem je barva směsi: po smíchání má světlehnědou až hnědou barvu.

Začátek tuhnutí se projevuje tmavnutím barvy do tmavohnědé, na konci tuhnutí (začátku tvrdnutí) dosáhne směs sytě černé barvy. V žádném případě nelze plastbetony zpracovávat po začátku tuhnutí. V takových případech dochází k poruchám vnitřních vazeb, ke ztrátě soudržnosti až do rozpadu na hrudky. To je důležité a je třeba se zpracovávání a manipulace s tuhnoucí směsí vyvarovat.

9.5. Poměry míšení

Poměry míšení jednotlivých složek jsou kromě zpracování a ošetření hlavní okolností, ovlivňující veškeré vlastnosti plastbetonů. Ve směsi plniva má být co nejvíce šterku, který příznivě

se znamenitě projeví zejména v příznivější vnitřní napjatosti, v menším smrštění a i. ve zmenšení nutného množství pojiva. Jako moučky se používají všechny druhy inertních plniv, např. křemičité moučky, grafit, uhelná nebo koksová moučka, sádrovec atd.

Pro tvár zrn platí stejné podmínky jako pro beton. Je možné s výhodou použít i různých umělých plniv, jako strusky, keramzitu a pod.

Skladování a odběr stěrko-písku je třeba podříditi pouze požadavku na minimální vlhkost směsi, jinak se řídí stejnými pravidly jako pro beton.

9.4. Vlastnosti pojiva

Spojovací složka šterku a písku - pojivo - je makromolekulární hmota, která postupně, po přidání iniciátoru případně urychlovače polykondensační nebo polymerační reakce, tvrdne. Reakce je silně exotermická.

Z pojiv, které přicházejí v této době v úvahu jsou to zejména pryskyřice polyesterové, epoxydové, fenol a močovinoformaldehydové a především furanové pryskyřice. Proč především furanové pryskyřice? Jednak pro jejich vysokou chemickou odolnost (jsou nadřazeny v tomto smyslu s výjimkou fluoroplastů prakticky všem plastickým hmotám), jednak jejich poměrně nízkou cenou (na světovém trhu podmíněném velkovýrobou jsou tyto pryskyřice nejlevnější) a konečně pro velké množství surovin prakticky nevyčerpatelných, protože stále vznikajících (dřevitých a zemědělských odpadů). Z furanových plastbetonů se nejlépe osvědčil plastbeton s pojivem furofuralovým: aktivní složka pojiva je furylalkohol, spolukondensující složka s druhou funkcí urychlovače je furylaldehyd.

Vždy je třeba dodávat do směsi ještě katalysátor nebo iniciátor

reakce, často urychlovač. Nemá smyslu tyto otázky rozebírat, neboť jsou popsány v množství speciální, zejména patentové literatury. My jsme většinou používali katalysátory běžně dodávané našimi výrobci s výjimkou furanových pryskyřic, kde byla vyzkoušena celá řada katalysačních způsobů.

Smíchání monomeru s katalysátorem z počátku nemění podstatně jeho viskozitu. S rozvíjející polymerací nebo polykondensací se viskozita pryskyřice zvyšuje, přechází do kašovitého stavu, gumovitého, čili tuhne a konečně se stává nepoddajnou, ztvrdne. Ze stavebního hlediska je důležitý počátek a konec tuhnutí i průběh tvrdnutí. Počátek tuhnutí neboli tzv. životnost směsi nemá být menší než 40-60 min; konec tuhnutí by měl být nejvýše 12 hod. od zamíchání směsi. Doba tuhnutí a tvrdnutí se ovlivňuje celou řadou činitelů, jako množstvím katalysátoru, urychlovače, teplotou a vlhkostí prostředí; závisí na poměrném objemu tělesa, poměru plniva k pojivu. Přitom závisí též na jejich kombinaci. Spolehlivé zkoušky o začátku tuhnutí a tvrdnutí nejsou dosud stanoveny. U berolu dobrým měřítkem je barva směsi: po smíchání má světlehnědou až hnědou barvu.

Začátek tuhnutí se projevuje tmavnutím barvy do tmavohnědé, na konci tuhnutí (začátku tvrdnutí) dosáhne směs sytě černé barvy. V žádném případě nelze plastbetony zpracovávat po začátku tuhnutí. V takových případech dochází k poruchám vnitřních vazeb, ke ztrátě soudržnosti až do rozpadu na hrudky. To je důležité a je třeba se zpracovávání a manipulace s tuhnoucí směsí vyvarovat.

9.5. Poměry míšení

Poměry míšení jednotlivých složek jsou kromě zpracování a ošetření hlavní okolností, ovlivňující veškeré vlastnosti plastbetonů. Ve směsi plniva má být co nejvíce šterku, který příznivě

zlepšuje modul pružnosti, objemové změny a jiné vlastnosti plastbetonu a je také levnější. Písku musí být však zřejmě nejméně lik, aby vyplnil mezery štěrku. O moučce vzhledem k písku platí totéž co o štěrku a písku, navíc moučka může fungovat jako plnivo pojiva, ve smyslu nastavení pojiva, jestliže její zrna jsou menší než průměrná tloušťka obalové vrstvy pojiva u větších zrn. Dalším základním hlediskem je, aby mezerovitost směsi štěrkopísku byla minimální při současně minimálním jeho specifickém povrchu. Aby se optimálně vyhovělo těmto požadavkům, je nejvýhodnější použít pretržitých směsí. Nejlépe je směs skládat ze tří až čtyř frakcí tak, aby vždy objem nižší frakce byl o 20 až 30% větší než objem mezer předchozí frakce nebo směsi frakcí.

Přetržka mezi jednotlivými frakcemi má být asi taková, aby nejménší zrno hrubší frakce bylo v rozmezí 2,5 - 4 násobku rozměru největšího zrna jemnější frakce.

Výsledky zkoušek ukázaly, že takto skládané směsi po všech stránkách předčí směsi přirozené i směsi skládané s plynulou křivkou zrnitosti. Sníží se zejména spotřeba pojiva potřebná k zajištění nepropustnosti a zvýšené náklady na třídění a skládání směsi se mnohonásobně vyplatí ve výsledné ceně plastbetonů. Některé z takových vhodných pretržitých směsí ukazuje obr. 34.

Obr. 34.

Křivka zrnitosti vhodných pretržitých směsí plniva

U směsí polykondensátových (jako např. u berolu), kde vzniká při tvrdnutí voda jako vedlejší produkt reakce, ukázalo se vhodné použít jako mikroplniva čisté sádry, která je schopna tuto vodu chemicky vázat. Vliv množství sádry na pevnost berolu a růst pevnosti se stářím ukazují obrázky 35 a 36.

Obr. 35.

Obr. 35.

Vliv množství sádry na pevnost berolu.

Obr. 36.

Růst pevnosti berolu se stářím

Množství pojiva je určeno především požadovanou jakostí plastbetonu. Rozhoduje sice o něm také druh a jakost pojiva, způsob zpracování a podmínky ošetření, přistupuje i okolnost, že na množství pojiva je závislá také zpracovatelnost plastbetonu, avšak hlavním kritériem zůstává vedle pevnosti spojitost či nespojitost pórovitosti, jinými slovy hranice propustnosti. Podle zkušeností bývá vyhovující množství pojiva mezi 60kg/m³ hotového plastbetonu (t.j. směs 1:35 - 1:40) pro podružné zdivo, do 250-280kg/m³ (poměr 1:6 - 1:8) u konstrukcí silně chemicky a mechanicky, zvláště vysokým přetlakem, namáhaných.

Důležité je též složení pojiva. Ukážeme jeho vliv na příkladu berolu, později i na jiných druzích plastbetonů. Obrázek 37 ukazuje pevnost dokonale vytvrzeného berolu v tahu a v tlaku podle obsahu katalysátoru a urychlovače, pro směs s váhovým poměrem aktivního pojiva (t.j. furalu) k písku 1:8 a 1:15.

Vidíme, jak citlivé jsou jeho vlastnosti na dávkování jednotlivých složek pojiva. Protože v daleko větší míře než u betonu platí zásada přesného váhového odměřování všech složek.

Rdobnou závislost ve tříložkovém diagramu ukazuje také obr. 38. Množství furalu z toho by nemělo překročit 20% celkové váhy pojiva.

Obr. 37.

Vliv množství katalysátoru a urychlovače na pevnost berolu

Obr. 38.

Pevnost berolu v závislosti na objemovém množství furolové pryže, kyřice, furolu a furalu.

zlepšuje modul pružnosti, objemové změny a jiné vlastnosti plastbetonu a je také levnější. Písku musí být však zřejmě nejméně 10%, aby vyplnil mezery šterku. O moučce vzhledem k písku platí totéž co o šterku a písku, navíc moučka může fungovat jako plnivá pojiva, ve smyslu nastavení pojiva, jestliže její zrna jsou menší než průměrná tloušťka obalové vrstvy pojiva u větších zrn. Dalším základním hlediskem je, aby mezerovitost směsi šterkopísku byla minimální při současně minimálním jeho specifickém povrchu. Aby se optimálně vyhovělo těmto požadavkům, je nejvýhodnější použít pretržitých směsí. Nejlépe je směs skládat ze tří až čtyř frakcí tak, aby vždy objem nižší frakce byl o 20 až 30% větší než objem mezer předchozí frakce nebo směsi frakcí.

Přetržka mezi jednotlivými frakcemi má být asi taková, aby nejménší zrno hrubší frakce bylo v rozmezí 2,5 - 4 násobku rozměru největšího zrna jemnější frakce.

Výsledky zkoušek ukázaly, že takto skládané směsi po všech stránkách předčí směsi přirozené i směsi skládané s plynulou křivkou zrnitosti. Snížila se zejména spotřeba pojiva potřebná k zajištění nepropustnosti a zvýšené náklady na třídění a skládání směsi se mnohonásobně vyplatí ve výsledné ceně plastbetonů. Některé z takových vhodných pretržitých směsí ukazuje obr. 34.

Obr. 34.

Křivka zrnitosti vhodných pretržitých směsí plniva

U směsí polykondensátových (jako např. u berolu), kde vzniká při tvrdnutí voda jako vedlejší produkt reakce, ukázalo se vhodné použít jako mikroplniva čisté sádry, která je schopna tutu vodu chemicky vázat. Vliv množství sádry na pevnost berolu a růst pevnosti se stářím ukazují obrázky 35 a 36.

Obr. 35.

Obr. 35.

Vliv množství sádry na pevnost berolu.

Obr. 36.

Růst pevnosti berolu se stářím

Množství pojiva je určeno především požadovanou jakostí plastbetonu. Rozhoduje sice o něm také druh a jakost pojiva, způsob zpracování a podmínky ošetření, přistupuje i okolnost, že na množství pojiva je závislá také zpracovatelnost plastbetonu, avšak hlavním kritériem zůstává vedle pevnosti spojitost či nespojitést pórovitosti, jinými slovy hranice propustnosti. Podle zkušeností bývá vyhovující množství pojiva mezi 60kg/m³ hotového plastbetonu (t.j. směs 1:35 - 1:40) pro podružné zdivo, do 250-280kg/m³ (poměr 1:6 - 1:8) u konstrukcí silně chemicky a mechanicky, zvláště vysokým přetlakem, namáhaných.

Důležité je též složení pojiva. Ukážeme jeho vliv na příkladu berolu, později i na jiných druzích plastbetonů. Obrázek 37 ukazuje pevnost dokonale vytvrzeného berolu v tahu a v tlaku podle obsahu katalysátoru a urychlovače, pro směs s váhovým poměrem aktivního pojiva (t.j. furola) k písku 1:8 a 1:15.

Vidíme, jak citlivé jsou jeho vlastnosti na dávkování jednotlivých složek pojiva. Protože v daleko větší míře než u betonu platí zásada přesného váhového odměřování všech složek.

Růdnou závislost ve tříslložkovém diagramu ukazuje také obr. 38. Množství furolu z toho by nemělo překročit 20% celkové váhy pojiva.

Obr. 37

Vliv množství katalysátoru a urychlovače na pevnost berolu

Obr. 38.

Pevnost berolu v závislosti na objemovém množství furolové pryskyřice, furolu a furolu.

Podrobným rozborem velkého počtu zkoušek se ukázalo, že lze popsat u berolu jistými funkcemi vliv složení pojiva na jeho pevnost. Tak např. podle dalších obrázků je popsána pevnost kvadratickou funkcí objemového poměru $f_{al}/f_p+f_{ol}+f_{al}$ (obr. 39), lineární funkcí objemového poměru f_{ol}/f_p+f_{ol} (obr. 40) a kvadratickou funkcí objemového poměru $d_m 100\%/d_m 100\%+f_{al}$ (obr. 41).

Obr. 39. - Pevnost berolu v závislosti na objemovém poměru $f_{al}/(f_p+f_{ol}+f_{al})$

Obr. 40. - Snížení největší pevnosti berolu vlivem objemového poměru f_{ol}/f_p+f_{ol} .

Obr. 41. - Pevnost berolu v závislosti na objemovém poměru $d_m 100\%/(d_m 100\%+f_{al})$.

Vliv složení směsi na pevnost lze velmi přibližně popsat logaritmickou funkcí podle obrázku 42.

Obr. 42.

Závislost pevnosti berolu na složení směsi

Vliv složení pojiva u jiných plastbetonů ukazuje obrázek 43. Srovnání vlivu složení směsi pro různé plastbetony ukazují obrázky 44, 45 a 46. Pokud jde o pevnost v tlaku, jsou rovnocenné všech-

Obr. 43 - Vliv složení pojiva na pevnost jiných plastbetonů

Obr. 44 - Závislost pevnosti v tlaku různých plastbetonů na složení směsi

Obr. 45 - Závislost pevnosti v tahu za ohybu různých plastbetonů na složení směsi.

Obr. 46 - Závislost objemové váhy různých plastbetonů na složení směsi.

ny druhy při váhovém poměru 1/10, pokud jde o objemovou váhu při poměru 1/18.

Míšení směsi je jednou ze základních podmínek dobrého výsledku. Nejvhodnější míšení je ve strojních míchačkách s nuceným pohybem (např. cyklon). Pro externičnost reakce nelze zvětšovat míšení množství nad jistou mez, 100-200 litrů na jednu záměs. Plastbetony nelze míchat do zásoby jako beton.

Pořad plnění míchaček je podle zkušeností nejlepší tento:

1. šterkopísek, 2. moučka, 3. katalysátor (je-li v práškovém stavu), 4. pryskyřice (nebo směs pryskyřice s katalysátorem, je-li katalysátor v tekutém stavu), 5. urychlovač.

Trvání míšení by nemělo pro jednu záměs klesnout pod 3 minuty.

Čistění míchaček je nutné provádět ihned po skončení míšení.

Obvykle k tomu stačí teplá, lépe horká voda, ale poměrně dobře lze použít i proud studené vody; pro některé druhy pryskyřic se hodí technický lih nebo různá rozpustidla. Po zatvrdnutí jde jen velmi těžko a pomalu odstranit zbytky plastbetonu pouze nejsilnějšími rozpustidly.

Jedním z hlavních kvalitativních ukazatelů pro praktickou upotřebitelnost je hutnost. Není sice jedinou ani hlavní příčinou, ovlivňující pevnost, ale je hlavní veličinou ovlivňující nepropustnost a tím též trvanlivost. Změnu množství porů v berolu se složením směsi ukazuje obrázek 47.

Obr. 47.

Objem otevřených porů berolu u různých směsí.

Z charakteru křivek je jasně patrná oblast přechodu od nespojité (uzavřené) pórovitosti k pórovitosti spojitě (otevřené) v rozmezí poměru aktivního pojiva k plnivu 1/7 až 1/8. Vhodnou skladbou šterkopískové směsi posune se tento přechod až k poměru 1/10 až 1/13.

9.6. Zpracování a ošetření

Zpracování nebo zhutňování čerstvé směsi je další důležitou otázkou. Je možno použít technik obvyklých u betonu, od dusání přes strásání (vibraci) až po lisování nebo vibrolisování. Stupeň zhutnění má na výsledné vlastnosti značný vliv, jak ukazuje např. obr. 48. pro berol, zpracováváný různě intenzivním dusáním.

Obr. 48.

Vliv zpracování na pevnost berolu.

Dalším důležitým činitelem je způsob ošetření zpracovaného plastbetonu. Ve všech případech příznivě působí na tvrdnutí malá relativní vlhkost prostředí, ve většině případů pak zvýšená teplota. Průběh tvrdnutí v normálním prostředí (s normální teplotou a vlhkostí) vzhledem k dokonale vytvrzenému berolu ukazuje obr. 49.

Obr. 49.

Růst pevnosti berolu s časem v normálních podmínkách v poměru k berolu dokonale vytvrzenému.

U berolu je nejvhodnější teplota při tvrdnutí je 35-40°C (obr.50) a k dokonalemu vytvrzení jí stačí ponechat po dobu 3-7dnů (obr.51)

Obr. 50.

Změna konečné pevnosti berolu v tlaku s teplotou vytvrzování pro různé směsi

Obr. 51.

Změna pevnosti berolu v tlaku a v tahu za ohybu podle doby tepelného ošetření pro různé směsi

Vliv vlhkosti prostředí během tvrdnutí má na výsledné vlastnosti plastbetonu velký vliv. Ukážeme opět na příkladě berolu změnu pevnosti v tlaku v závislosti na vlhkosti prostředí při tvrdnutí. (obr.52).

Obr. 52.

9.7. Pevnost

Vlhkost prostředí má samozřejmě vliv na plastbetony i po jejich úplném vytvrzení, mají-li spojitou (otevřenou) pórovitost. Změnu pevnosti berolu vlivem různé vlhkosti ukazuje obr. 53.

Obr. 53.

Změna ohybové a tlakové pevnosti plně vytvrzeného berolu různého složení se změnou vlhkosti (nasycení vodními parami) vzhledem k základní pevnosti při 15% RV.

Pevnosti jednotlivých směsí při 28 denním uložení ve zvýšené teplotě 55-60°C a 15% RV (ke kterým jsou vztaheny ostatní pevnosti v obrázku 53) jsou uvedeny v následující tabulce 34. Jsou v ní kromě toho uvedeny i hodnoty pevnosti, získané pro jednotlivé směsi po 14 denním uložení ve vodě (po úplném vytvrzení). Dále obsahuje tabulka hodnoty pevnosti po 14 dnech tepelného ošetření (t.j. v době, kdy byla zkušební tělesa vkládána do různých prostředí).

Tabulka 34.

Uložení	Směs	1:8	1:10	1:15	1:30
14 dní 55-60°C	Pevnost v tahu za ohybu kg/cm^2	103	108	80	51
	Pevnost v tlaku kg/cm^2	565	562	357	179
28 dní 55-60°C	Pevnost v tahu za ohybu $\text{kg/cm}^2/\%$	113/100	110/100	87/100	64/100
	Pevnost v tlaku $\text{kg/cm}^2/\%$	626/100	565/100	341/100	217/100
14 dní 55-60°C	Pevnost v tahu za ohybu $\text{kg/cm}^2/\%$	133/118	54/49,1	24/27,6	9/14,1
	Pevnost v tlaku $\text{kg/cm}^2/\%$	646/96,8	326/57,7	141/41,3	43/19,9
15% RV + 14 dní voda					

K velice zajímavým výsledkům, které nás vedly k dalšímu podrobnému výzkumu porézních soustav obecně, se došlo porovnáním pevnosti berolu při změně stupně jeho nasycenosti vodou nebo vodními pa-

rami. Ukázalo se, že nejen složení směsi, ale i mezerovitost plniva a nasycenost soustavy vodou významně ovlivňují pevnosti, jak ukazuje obr. 54.

Obr. 54.

Změna pevnosti berolu s různým poměrem plniva k aktivnímu pojivu při různém stupni nasycení vodou.

Úsečky obou extrémů jsou funkcí především hutnosti zatvrdlého berolu, nebo předpokládáme-li stejné zpracování, mezerovitosti plniva. Minimum odpovídá nejhutnější směsi, maximum odpovídá nejpriznivější vnitřní napjatosti. Nemáme však zde tolik místa, abychom mohli podrobnějšími našimi poznatky se zabývat; můžeme jen konstatovat, že byly nalezeny funkce, které popisují všechny hlavní zjištěné změny až k funkci, popisující pevnost berolu v závislosti na jeho složení, mezerovitosti plniva, nadbytku pojiva v nejhutnější směsi a stupně nasycení vodou (vlhkosti).

Pro praktickou potřebu byly tyto funkce, poměrně složitého tvaru, vyjádřeny ve formě grafů pro jisté výchozí parametry. Příklad takového grafu je ukázán na obr. 55.

Obr. 55.

Grafické znázornění funkce popisující pevnost berolu.

Všimněme si ještě nasákavosti (pórovitosti) ostatních zkoumaných plastbetonů. Podstatně se průběhy od sebe neliší, což potvrzuje skutečnost, že v oblasti otevřené pórovitosti nezáleží na druhu pojiva a objem pórů je dán jinými faktory, jako mezerovitostí plniva, zhutněním a pod. (viz obr. 56, 57).

Obr. 56 - Nasákavost různých plastbetonů dokonale vytvrzovaných (60°C, 18% RV) podle složení směsi.

Obr. 57 - Nasákavost různých plastbetonů vytvrzovaných při 20°C, 70-80% RV podle složení směsi.

Pevnosti různých plastbetonů po delším vodním uložení ukazuje další obrázek 58. Její změna vynikne při srovnání s pevnostmi vzorků uložených pouze na suchu (obr. 44).

Obr. 58.

Pevnosti různých plastbetonů po delším vodním uložení.

Další obrázky 59 a 60 ukazují změnu modulu pružnosti, dynamického modulu pružnosti, modulu pružnosti ve smyku a Poissonovy konstanty různých plastbetonů.

Obr. 59. - Závislost modulu pružnosti statického a dynamického a Poissonova součinitele různých plastbetonů dokonale vytvrzených (60°C, 15% RV) na složení směsi.

Obr. 60. - Závislost modulu pružnosti statického a dynamického a Poissonova součinitele různých plastbetonů vytvrzovaných při 20°C, 70-80% RV na složení směsi.

Pro stavební praxi jsou s hlediska modulů pružnosti u všech plastbetonů nejvýhodnější směsi na konci druhého (přechodového) intervalu, t. j. pro poměr míšení 1:10 - 1:15. Zde se již jasněji projevuje příznivější vnitřní napjatost v soustavách s menším obsahem pojiva než dává nejhutnější směs. Průměrné moduly pružnosti (pro napětí $0-\frac{2}{3}$) jsou největší pro směs 1:10 u prvních tří plastbetonů. Ve vzájemném pořadí je nejlepší polyesterový, druhý furol-furalový a konečně epoxydový plastbeton. Přibližně totéž platí o modulu pružnosti ve smyku.

Zvětšováním množství katalysátorů dosáhne se podobného účinku jako u pevnosti. U furol-furalového plastbetonu se výrazně projeví vliv tepelného ošetření při tvrdnutí.

Poissonův součinitel je z hlediska mechaniky pro stavební konstrukce nejvýhodnější pro soustavy ve druhém a na počátku třetího intervalu (v okolí poměru plnivo: akt. pojivo = 15).

Absolutní hodnoty modulů pružnosti, zejména pak polyesterového a furol-furalového plastbetonu, jsou vesměs dostatečně vysoké pro konstrukční využití.

Již dva uvedené obrázky 56 a 57 dávají přehled o smrštění a součiniteli tepelné roztažnosti různých plastbetonů. Smrštění bylo měřeno až 24 hod. po zhotovení; u některých plastbetonů (epoxydový, polyesterový) do té doby již proběhla podstatná část celkové hodnoty smrštění, zejména u směsi bohatých pojivem. Jsou tedy zjištěny výsledky smrštění jen zhruba orientační.

U furol-furalového plastbetonu, tvrdnouceho za zvýšené teploty dojde v oblasti mezi prvním a druhým intervalem k anomálii. Způsob ji zřejmě rozdíl mezi roztažením nezatvrdlého materiálu při zvýšené teplotě a zkrácením vytvrzeného materiálu po ochlazení. To ovšem způsobuje v soustavě značnou vnitřní napjatost, která se projeví snížením pevnosti i modulu pružnosti v této oblasti.

Ve srovnání s cementovým betonem je smrštění plastbetonů vždy větší a je třeba při návrhu prvků a technologii k této skutečnosti přihlížet.

Součinitel tepelné roztažnosti je ve všech případech v přijatelných mezích u soustav druhého a třetího intervalu, kde je řádově shodný s tímž součinitelem cementového betonu.

Všimneme si ještě, jak se mění pevnosti berolu s časem (obr. 61)

Obr. 61.

Změna pevnosti berolu v tlaku s časem.

Po několika měsících po počátečním malém snížení zůstává pevnost konstantní.

Při dlouhém zatížení se blíží trvalá pevnosti asi 50% krátkodobé pevnosti, jak ukazuje obr. 62.

Obr. 62.

Změna pevnosti berolu v tahu za ohybu s dobou namáhání.

9.8. Srovnání různých plastbetonů

Lepší a objektivnější možnost srovnávat jednotlivé vlastnosti plastbetonů dává srovnání těchto vlastností v závislosti na poměrném objemovém zastoupení všeho dodaného pojiva v jednotce objemu pevné fáze v soustavě. Obrázky 63, 64 a 65 ukazují

srovnání sledovaných plastbetonů tímto způsobem.

Obr. 63 - Objemová váha různých plastbetonů v závislosti na poměrném obsahu pojiva v pevné fázi.

Obr. 64 - Porosita různých plastbetonů v závislosti na poměrném obsahu pojiva v pevné fázi.

Obr. 65 - Pevnost v tlaku různých plastbetonů v závislosti na poměrném obsahu pojiva v pevné fázi.

Shrneme-li pouze poznatky obecné povahy, je možné konstatovat, že každá vlastnost plastbetonů je funkcí

- a) vlastnosti pojiva,
- b) objemového zastoupení pojiva ve směsi,
- c) mezerovitosti plniva,
- d) mechanické interakce mezi pojivem a plnivem v závislosti na podmínkách tvrzení materiálu,
- e) mechanické interakce materiálu s prostředím.

9.9. Kontrola výroby, spotřeba hmot a cena

Nakonec několik slov ke kontrole výroby berolu. Kontrola je nezbytná, aby byla zajištěna předpokládaná jakost. Obvykle se prokazuje jen určitá nejmenší pevnost, hutnost, nepropustnost. Z předchozího výkladu je vidět, že jakost plastbetonů je závislá v podstatě ve větší míře než beton na stejnoměrné jakosti dodávaných složek, na zachování poměrů míšení, na zpracování a na zachování okolních podmínek při výrobě a ošetření v době tuhnutí a tvrdnutí. Je ale nutné zjišťovat nejen absolutní hodnoty pevnosti, ale i stupeň vytvrzení; ten se určí srovnáním pevnosti zkušebních těles uložených ve stejném prostředí jako výrobek s pevností těles uložených nejméně 7 dnů v definovaných podmínkách prostředí, při zvýšené teplotě asi 40-60°C a minimální vlhkosti. Na základě

U furol-furalového plastbetonu, tvrdnoucího za zvýšené teploty, dojde v oblasti mezi prvním a druhým intervalem k anomálii. Způsobí ji zřejmě rozdíl mezi roztážením nezatvrdlého materiálu při zvýšené teplotě a zkrácením vytvrzeného materiálu po ochlazení. To ovšem způsobuje v soustavě značnou vnitřní napjatost, která se projeví snížením pevnosti i modulu pružnosti v této oblasti.

Ve srovnání s cementovým betonem je smrštění plastbetonů vždy větší a je třeba při návrhu prvků a technologii k této skutečnosti přihlížet.

Součinitel tepelné roztažnosti je ve všech případech v přijatelných mezích u soustav druhého a třetího intervalu, kde je řádově shodný s tímž součinitelem cementového betonu.

Všimneme si ještě, jak se mění pevnosti berolu s časem (obr.61)

Obr. 61.

Změna pevnosti berolu v tlaku s časem.

Po několika měsících po počátečním malém snížení zůstává pevnost konstantní.

Při dlouhém zatížení se blíží trvalá pevnosti asi 50% krátkodobé pevnosti, jak ukazuje obr. 62.

Obr. 62.

Změna pevnosti berolu v tahu za ohybu s dobou namáhání.

9.8. Srovnání různých plastbetonů

Lepší a objektivnější možnost srovnávat jednotlivé vlastnosti plastbetonů dává srovnání těchto vlastností v závislosti na poměrném objemovém zastoupení všeho dodaného pojiva v jednotce objemu pevné fáze v soustavě. Obrázky 63, 64 a 65 ukazují

srovnání sledovaných plastbetonů tímto způsobem.

- Obr. 63 - Objemová váha různých plastbetonů v závislosti na poměrném obsahu pojiva v pevné fázi.
- Obr. 64 - Porosita různých plastbetonů v závislosti na poměrném obsahu pojiva v pevné fázi.
- Obr. 65 - Pevnost v tlaku různých plastbetonů v závislosti na poměrném obsahu pojiva v pevné fázi.

Shrneme-li pouze poznatky obecné povahy, je možné konstatovat, že každá vlastnost plastbetonů je funkcí

- a) vlastnosti pojiva,
- b) objemového zastoupení pojiva ve směsi,
- c) mezerovitosti plniva,
- d) mechanické interakce mezi pojivem a plnivem v závislosti na podmínkách tvrzení materiálu,
- e) mechanické interakce materiálu s prostředím.

9.9. Kontrola výroby, spotřeba hmot a cena

Nakonec několik slov ke kontrole výroby berolu. Kontrola je nezbytná, aby byla zajištěna předpokládaná jakost. Obvykle se prokazuje jen určitá nejmenší pevnost, hutnost, nepropustnost. Z předchozího výkladu je vidět, že jakost plastbetonů je závislá v podstatě ve větší míře než beton na stejnoměrné jakosti dodávaných složek, na zachování poměrů míšení, na zpracování a na zachování okolních podmínek při výrobě a ošetření v době tuhnutí a tvrdnutí. Je ale nutné zjišťovat nejen absolutní hodnoty pevnosti, ale i stupeň vytvrzení; ten se určí srovnáním pevnosti zkušebních těles uložených ve stejném prostředí jako výrobek s pevností těles uložených nejméně 7 dnů v definovaných podmínkách prostředí, při zvýšené teplotě asi 40-60°C a minimální vlhkosti. Na základě

U furol-furalového plastbetonu, tvrdnoucího za zvýšené teploty, dojde v oblasti mezi prvním a druhým intervalem k anomálii. Způsobí ji zřejmě rozdíl mezi roztážením nezatvrdlého materiálu při zvýšené teplotě a zkrácením vytvrzeného materiálu po ochlazení. To ovšem způsobuje v soustavě značnou vnitřní napjatost, která se projeví snížením pevnosti i modulu pružnosti v této oblasti.

Ve srovnání s cementovým betonem je smrštění plastbetonů vždy větší a je třeba při návrhu prvků a technologii k této skutečnosti přihlížet.

Součinitel tepelné roztažnosti je ve všech případech v přijatelných mezích u soustav druhého a třetího intervalu, kde je řádově shodný s tímž součinitelem cementového betonu.

Všimneme si ještě, jak se mění pevnosti berolu s časem (obr. 61)

Obr. 61.

Změna pevnosti berolu v tlaku s časem.

Po několika měsících po počátečním malém snížení zůstává pevnost konstantní.

Při dlouhém zatížení se blíží trvalá pevnosti asi 50% krátkodobé pevnosti, jak ukazuje obr. 62.

Obr. 62.

Změna pevnosti berolu v tahu za ohybu s dobou namáhání.

9.8. Srovnání různých plastbetonů

Lepší a objektivnější možnost srovnávat jednotlivé vlastnosti plastbetonů dává srovnání těchto vlastností v závislosti na poměrném objemovém zastoupení všeho dodaného pojiva v jednotce objemu pevné fáze v soustavě. Obrázky 63, 64 a 65 ukazují

srovnání sledovaných plastbetonů tímto způsobem.

Obr. 63 - Objemová váha různých plastbetonů v závislosti na poměrném obsahu pojiva v pevné fázi.

Obr. 64 - Porosita různých plastbetonů v závislosti na poměrném obsahu pojiva v pevné fázi.

Obr. 65 - Pevnost v tlaku různých plastbetonů v závislosti na poměrném obsahu pojiva v pevné fázi.

Shrneme-li pouze poznatky obecné povahy, je možné konstatovat, že každá vlastnost plastbetonů je funkcí

- a) vlastnosti pojiva,
- b) objemového zastoupení pojiva ve směsi,
- c) mezerovitosti plniva,
- d) mechanické interakce mezi pojivem a plnivem v závislosti na podmínkách tvrzení materiálu,
- e) mechanické interakce materiálu s prostředím.

9.9. Kontrola výroby, spotřeba hmot a cena

Nakonec několik slov ke kontrole výroby berolu. Kontrola je nezbytná, aby byla zajištěna předpokládaná jakost. Obvykle se prokazuje jen určitá nejmenší pevnost, hutnost, nepropustnost. Z předchozího výkladu je vidět, že jakost plastbetonů je závislá v podstatě ve větší míře než beton na stejnoměrné jakosti dodávaných složek, na zachování poměrů míšení, na zpracování a na zachování okolních podmínek při výrobě a ošetření v době tuhnutí a tvrdnutí. Je ale nutné zjišťovat nejen absolutní hodnoty pevnosti, ale i stupeň vytvrzení; ten se určí srovnáním pevnosti zkušebních těles uložených ve stejném prostředí jako výrobek s pevností těles uložených nejméně 7 dnů v definovaných podmínkách prostředí, při zvýšené teplotě asi 40-60°C a minimální vlhkosti. Na základě

takových zkoušek je pak možno stanovit pro určitý postup (jisté výrobní podmínky) určité (předepsané) nejmenší pevnosti zkušebních těles. To je také jedna odlišnost od betonu, kde podmínky uložení zdaleka tak neovlivňují dosažené hodnoty pevnosti a proto se ani zvlášť nesledují a ani nepředepisují. Jak se může měnit vlivem některých součinitelů pevnost berolu ukazuje další tabulka č. 35.

Tabulka 35.

Činitel	možná změna pevnosti v %
jakost aktivní složky pojiva (FOL,FP)	až 70
jakost urychlovače (FAL)	až 20
jakost katalysátoru (DM 25%)	až 90
zrnitost šterkopísku	až 20
čistota šterkopísku (uhličitany)	až 90
vlhkost šterkopísku	až 90
Míšení:	
poměr $\frac{FAL}{FP+FOL+FAL}$	až 70
poměr $\frac{FOL}{FP+FOL}$	až 28
poměr $\frac{DM\ 100\%}{DM\ 100+FAL}$	až 40
zhutňování	až 50
vlhkost prostředí	až 90
teplota prostředí	až 60

Při přesném zachování předepsaného technologického postupu a při využití týchž složek dosáhne se naopak očekávaný výsledek. Největší odchylky přitom nepřevýší $\pm 10\%$.

Pro zjištění spotřeby hmot je třeba znát vydatnost míšení, t.j. poměr objemu hotového plastbetonu k zdanlivému (sulfárnímu) objemu složek. Liší se podle poměrů míšení a hlavně mezerovitostí plniva a je asi od 0,70 do 0,90.

Cenu plastbetonů ovlivňuje především cena aktivního pojiva -pryskyřice. Pro berol v československých cenách (z roku 1966) které jsou mimochodem asi 3-4krát vyšší než ceny světové, pro míšení jež dává ještě nepropustný materiál (t.j. asi s poměrem pojiva k plnivu 1:12) je cena asi 1850,- Kčs za 1 m³. Vyjádřeno ve vlastních nákladech činí cena asi 2870,- Kčs za 1 m³, cena i se zabudováním je 3 500,- Kčs/m³. Ostatní plastbetony podobných vlastností jsou vesměs podstatně (asi 2-3krát) dražší. Lze předpokládat, že zavedením velkovýroby se ceny podstatně sníží.

Bylo by pochopitelně možno se zmínit ještě o celé řadě jistě zajímavých hledisek, vlastnostech a vlivech při výrobě a využití plastbetonů. Nelze však vše obsáhnout v jedné stati; další informace je možno nalézt v literatuře.

9.10. Závěr

Přednosti a nedostatky plastbetonů jsou, myslím, z uvedených rozborů patrné. V kapitole 9 bylo ukázáno několi důležitých dalších výhod berolu proti ostatním plastbetonům. Všechny uvedené okolnosti jsou spojeny reálným předpokladem jeho nízké ceny při vynikajících mechanicko-fyzikálních a fyzikálně-chemických vlastnostech. Nevýhodou zůstává, stejně jako u většiny hmot organického původu, poměrně malá bezpečnost v ohni a vysoké dotvarování. Lze však předpokládat, že i tyto nevýhody budou postupně s rozvojem makromolekulární chemie odstranovány. Náznakem možného řešení je využití Si-plastů.

Někdy slyšíme námitky proti použití plastbetonů, podložené některými nezdary provedených aplikací plastických hmot,

Je sice pravdou, že nezdár je rizikem každého lidského podnikání a inženýrského, stavitelského podnikání zvláště, ale současně je třeba vidět, že vždy dochází k nezdaru v důsledku neuvážené aplikace, nevycházející z možností a zvláštností nového materiálu.

Všeobecně lze říci, že podmínky úspěchu a příčiny neúspěchu jsou vesměs známy, není tu žádných okolností, které by se vymykaly v hranicích vhodné použitelnosti zásahu a kontrole výrobcové. Je ovšem nutné předpokládat, že návrhem a provedením se pověřují odborníci zkušení a svědomití a s vlastnostmi materiálu obeznámení.

10. Polymerbetony

Od dob průmyslového zpracování kaučukového latexu a výroby prvních druhů plastických hmot objevují se i pokusy přimíchávat je do cementových malt a betonů se snahou zlepšit některé vlastnosti těchto materiálů. Jde především o zvýšení pevnosti v tahu, zlepšení houževnatosti a odolnosti obrusu a tím zmenšení odprašování, zlepšení přilnavosti k podkladu, zejména ke starému betonu, zvýšení nepropustnosti a chemické odolnosti. V závislosti od druhů a množství přimíšeného polymeru je možné změnit nebo ovlivnit ty nebo ony vlastnosti betonu.

V současné době používané přísady plastických hmot je možné rozdělit na čtyři základní skupiny:

1. monomery polymerisující a tvrdnoucí v zásaditém prostředí cementového kamene po vytvoření jeho struktury,
2. polymery, přimíšené do betonové směsi nebo betonu, schopné vytvrzení ve stádiu tvorby struktury cementového kamene,
3. vazkopružné polymery, zachovávající v betonu svoje pružné vlastnosti a zvětšující s časem jen viskozitu na rozdíl od materiálů prvních dvou skupin, v nichž prochází změnou od vazkotekutého do pružně tuhého stavu,
4. dispergované termoplastické polymery, přimíšené do betonové směsi. Při propařování betonu takový polymer se taví a při ochlazení spolehlivě zaplní póry betonu.

Zlepšení vlastností přísadou polymerů do betonu se vysvětluje tím, že

- a) polymery zaplní dutiny, vyskytující se v cementovém kamenu, čímž se beton stává hutnější a nepropustnější,
- b) polymery povléknou plnivo tenkou vrstvou a zvětšují tak soudržnost mezi ním a cementovým kamenem, v důsledku čehož se beton stává odolnější agresivním a jiným účinkům,

c) polymery chemicky působí na cementový kámen a různé druhy plni-
va a dávají jim tak nové vlastnosti.

Všechny používané polymery musí být odolné zásadám, jinak dochází k jejich strukturním změnám; urychlujícím stárnutí. Stárnutí polymerů je příčinou postupné ztráty přinesených vlastností a v řadě případů i snížení původních vlastností betonu. Příkladem takových polymerů může být velká skupina nitrilových syntetických kaučuků. Nejúčinnějšími metodami snížení propustnosti a zvýšení chemické odolnosti betonů je použití makromolekulárních přísad podle první a čtvrté skupiny. Zvýšení pevnosti v tahu, snížení obrusnosti a zvláště zvýšení přilnavosti ke starému betonu přinese použití přísad podle bodu 2 a 3.

10.1. Polymerbetony s přísadou furylalkoholu

Jako monomer dobře rozpustný ve vodě, polymerisující a tvrdnoucí v zásaditém prostředí tekuté fáze cementového kamene, se osvědčil furylalkohol, získávaný hydrogenací furalu (furylaldehydu). Druhou složkou polymerů je hydrochlorid anilinu, který je také dobře rozpustný ve vodě. Způsobující hydrolysu v tekuté fázi cementové suspence An.HCl reaguje s furylalkoholem a vytvoří furylanilinovou pryskyřici. Furylanilinová pryskyřice je prakticky nerozpustná ve vodě a vytvoří se v dostatečném množství jako vysokoviskózní kapalina během prvních 30 min. po zamíchání. Protože je povrchově aktivní hydrofobní hmotou, pryskyřice silně zpomalí proces vytváření struktury cementového kamene a růstu jeho pevnosti; v nasycených roztocích produktů hydratace cementu proces její polymerisace a vytvrzení prochází velmi pomalu.

Zvýšení koncentrace An.HCl urychlí jak proces polymerisace a vytvrzení pryskyřice, tak i tvorbu struktury cementového kamene.

Jinými možnými urychlovači procesu vytváření struktury a vytvrzování pryskyřice jsou chlorid železnatý a chlorid vápenatý. Změna koncentrace An.HCl a chloridu vápenatého nebo chloridu železnatého může v širokých mezích regulovat rychlost procesů polymerisace a vytvrzení pryskyřice a tím tvrdnutí cementového kamene. Tak např. koncentrace furylalkoholu v záměsové vodě do 15% při současné koncentraci hydrochloridu anilinu 2,2% a chloridu vápenatého 3-5% nemá vliv na rychlost tvrdnutí betonu. Teprve další zvýšení koncentrace furylalkoholu způsobí zpomalení růstu pevnosti betonu. Např. při koncentraci furylalkoholu 25-27% (v tekuté fázi) očekávaná pevnost betonu je dosažena až ve 45 dnech (tab.36). Nepropustnost tohoto betonu a jeho zvýšená odolnost jsou dosaženy ucpáním pórů cementového kamene a to nejen tvrdou, ale i vysokoviskózní pryskyřicí.

Proces polymerisace furylalkoholu je provázen značným exotermickým účinkem (155 kcal/kg). Vývin tepla v procesu polymerisace je tím větší, čím vyšší je koncentrace furylalkoholu a anilinhydrochloridu ve vodě. Tekutá furylanilinová pryskyřice až do 40% obsahu v tekuté fázi tvrdnoucího cementového kamene nebrání procesu hydratace a tvrdnutí cementu.

Kinetiku procesu polymerisace a tvrdnutí furylanilinových pryskyřic v zásaditém prostředí ukazuje další tabulka. Za dobu vytvrzení byla vzata doba, do které pryskyřice dosáhla plasticke pevnosti 25-30 kg/cm².

K získání betonu nezbytné odolnosti a nepropustnosti je dostatečné přidat 10-25% furfurylalkoholu v tekuté fázi. Použití vodních roztoků furylalkoholu a An.HCl pro utěsnění cementových malt a betonů umožňuje zmenšit o 10-25% množství vody v betonové směsi, což současně zvětší hutnost betonu a zmenší množství volné vody v betonu, určující v zásadě jeho pórovitost.

Tabulka 36.

An. HCl v % fu- rylalko- holu	Koncentra- ce CaCl ve vodě %	Doba vytvrzení ve dnech			
		Koncentrace furylalkoholu ve vodě v %			
		15	20	30	40
10	0	115	65	45	23
15	0	65	49	30	14
10	5	46	33	19	14
15	5	33	20	12	8

Do betonu s přísadou furylalkoholu, který je určen pro konstrukce v prostředí suchého vzduchu nebo prostředí s proměnnou vlhkostí je nezbytné přidat křemenné mikroplnivo (bezprostředně do míchačky v množství 25% váhy cementu). Přidání mikroplniva není nutné při využívání betonových a železobetonových konstrukcí v podmínkách vylučujících smršťování (voda, vysoká vlhkost).

Pro konstrukce, ke kterým se předpisuje potřeba vysoké nepropustnosti a stálosti se nedoporučuje použití zavlhých (tuhých) betonových směsí s přísadou furylalkoholu.

Při návrhu složení takového betonu pro konstrukce, u kterých se požaduje vysoká stálost a nepropustnost, je nutné volit poměr tekuté fáze (vodní roztok furylalkoholu a přísad) k váze pojiva k poměru 0,4 až 0,45. Nízká propustnost betonu podmiňuje jeho vysokou odolnost k agresivním prostředím, naftě a naftovým výrobkům, chloridovým i síranovým solným roztokům.

Injektážní cementové malty s přísadou furylalkoholu (10% koncentrace), hydrochloridem anilinu a chloridu vápenatého jsou odolné podzemním vodám s vysokými koncentracemi síranů, chloridu hořečnatého i sírovodíku.

Beton s přísadou fufurylalkoholu má o polovinu lepší poměr tahové k tlakové pevnosti než obyčejný beton, větší pevnost

v tahu, snížený modul pružnosti (o 20%) a poněkud zvýšené smrštění (0,4mm/m).

Při zkouškách mrazuvzdornosti v mořské vodě vydržel beton s přísadou furylalkoholu 400 cyklů zmrazení a rozmrazení se ztrátou váhy pouze 0,31% a ztrátou pevnosti 13%.

Z betonu s přísadou furylalkoholu byly zhotoveny nádrže na naftu při tlaku 1 1/2 atm, které po několika letech nevykázaly nejmenší poruchy a zůstaly úplně nepropustné. Jinými zkouškami bylo dokázáno, že tento beton je nepropustný při vhodném složení až do 80 atm.

10.2. Betony s přísadou syntetických latexů

Ke druhé nebo třetí skupině polymerů v betonu v závislosti od jejich koncentrace je možno přiřadit široký rozsah syntetických latexů.

Při výběru syntetických latexů jako přísady do betonu z portlandského cementu je základní podmínkou odolnost zásadám, která zabezpečí, aby si nabyté vlastnosti beton ponechal i po dlouhé době.

Z velkého množství různých syntetických latexů se nejčastěji používá latex butadienstyrenový.

Používají se dva způsoby přísady latexových směsí do betonu: v prvním případě je jako záměsová kapalina použita vodná disperze latexu bez dalšího přidání vody. Ve druhém případě se do záměsové vody přidá (4-8% váhy cementu) vodná disperze latexu.

Při zamíšení cementové malty vodnou disperzí latexu cement v prvním stádiu tvrdnutí absorbuje vodu a váže ji v procesu hydratace. Odsávání vody cementem z vodné disperze latexu vede ke vzniku polymerů ve ztvrdlém stavu jako plošných blan. Na konec se v latex-cementové směsi vytvoří dvě strukturní fáze:

Prvá ve tvaru polykrystalických aglomerátů produktů hydratace cementu, druhá ve tvaru blan kaučuku mezi těmito polykrystalickými shluky. Díky tomu mají zatvrdlé cemento-latexové směsi zvýšenou odolnost zásadám, některým kyselým prostředím a vysokou odolnost mineralizovaným vodám a roztokům solí.

Při namáhání polymerbetonu tlakem se blanky plastické hmoty pro svou velkou pružnost uplatní spíše negativně, usnadňující pohyb krystalků cementu; o pevnosti v tlaku i zde rozhodují hlavně spoje vytvořené vzájemným prorůstáním krystalků cementu. Zato při namáhání polymerbetonu tahem pružné blanky vydatně spolupůsobí a několikanásobně zvyšují pevnost hmoty. Pevnost blanek závisí především na velikosti mezimolekulárních soudržných sil polymeru.

Cementolatexové směsi mají nízký modul pružnosti, zvětšené dotvarování, vysokou pevnost v prstém tahu a sníženou pevnost v tlaku. Poměr tahové k tlakové pevnosti se přitom silně zvyšuje a je 0,3 až 0,5.

Při nízké příněsi vodných dispersí latexů určuje strukturu a pevnost betonů i malt proces tvrdnutí cementu. Koagulovaný latex je částečně rozložen ve spojích polykrystalických srastů a zejména v pórech cementového kamene.

Vodné disperse latexů nelze přidávat dodatečně do betonové směsi; vždy je nutno ji přimísit do záměsové vody.

10.3. Polymerbetony s přísadou polyvinylacetátu

Charakteristickým představitelem třetí skupiny polymerů přidávaných do betonu je polyvinylacetát. Obvykle se dodává v 50% vodné dispersi s přísadou 15% dibutylftalátu.

Podle připravené normy v NDR má mít polyvinylacetát pro polymerové malty tyto vlastnosti:

viskozita (cP)	4 000 - 10 000
pH	4 - 5
obsah sušiny (%)	45 - 52
obsah polymeru (%)	35 - 46
obsah změkčovadla (%)	10 - 6
emulgátor/polymer	0,02 - 0,03
změkčovadlo/polymer	0,29-0,13
obsah vody (%)	50 - 40
velikost částic (μ)	1 - 3

U nás má PVAc disperse (CHZVP Nováky) velký obsah emulgátorů a ochranných koloidů (zbytky emulgačního mýdla a větší množství polyvinylalkoholu) a vykazuje botnání a velkou nasákavost (více než 35% váhy proti zahraničním výrobkům se 2-3% váhy).

Přísada PVAc k měkkým cementovým maltám a betonům při tvrdnutí v podmínkách normální vlhkosti (kolem 90% RV) vede k tím většímu snížení pevnosti (zvláště tlakové), čím větší je množství přísady.

V suchých podmínkách tvrdnutí (RV = 30-35%) je optimální množství přísady PVAc (50% váhy PVAc + 50% váhy vody) 20% váhy cementu. Za těchto podmínek pevnost betonu v tlaku za 28 dní se zvětší o 20 až 25%, pevnost betonu v tahu za ohybu téměř 2x.

Tloušťka vrstev z polymerbetonu nemá být větší než 5 cm, aby došlo k vytvrdnutí v obvyklé době 28 dnů.

Cementová malta z portlandského cementu 400 v poměru 1:2, při V/C = 0,33 a přísadě 20% PVAc tvrdnoucí v suchém prostředí dosáhne za měsíc pevnost v tahu za ohybu 200 kg/cm² a pevnost v tahu 480 až 500 kg/cm². Takový beton je podle některých autorů stálý při působení benzolu, benzínu, nafty, olejů, mořské vody, zředěných i koncentrovaných zásad. Nedostatkem tohoto betonu je vysoké smrštění, vysoké dotvarování a velké snížení pevnosti ve vodě

Prvá ve tvaru polykrystalických aglomerátů produktů hydratace cementu, druhá ve tvaru blan kaučuku mezi těmito polykrystalickými shluky. Díky tomu mají zatvrdlé cemento-latexové směsi zvýšenou odolnost zásadám, některým kyselým prostředím a vysokou odolnost mineralizovaným vodám a roztokům solí.

Při namáhání polymerbetonu tlakem se blanky plastické hmoty pro svou velkou pružnost uplatní spíše negativně, usnadňující pohyb krystalků cementu; o pevnosti v tlaku i zde rozhodují hlavně spoje vytvořené vzájemným prorůstáním krystalků cementu. Zato při namáhání polymerbetonu tahem pružné blanky vydatně spolupůsobí a několikanásobně zvyšují pevnost hmoty. Pevnost blanek závisí především na velikosti mezimolekulárních soudržných sil polymeru.

Cementolateroxové směsi mají nízký modul pružnosti, zvětšené do tvarování, vysokou pevnost v prostém tahu a sníženou pevnost v tlaku. Poměr tahové k tlakové pevnosti se přitom silně zvyšuje a je 0,3 až 0,5.

Při nízké přinesí vodných dispersí latexů určuje strukturu a pevnost betonů i malt proces tvrdnutí cementu. Koagulovaný latex je částečně rozložen ve spojích polykrystalických srastů a zejména v pórech cementového kamene.

Vodné disperse latexů nelze přidávat dodatečně do betonové směsi; vždy je nutno ji přimísit do záměsové vody.

10.3. Polymerbetony s přísadou polyvinylacetátu

Charakteristickým představitelem třetí skupiny polymerů přidávaných do betonu je polyvinylacetát. Obvykle se dodává v 50% vodné dispersi s přísadou 15% dibutylftalátu.

Podle připravené normy v NDR má mít polyvinylacetát pro polymerové malty tyto vlastnosti:

viskositá (cP)	4 000 - 10 000
pH	4 - 5
obsah sušiny (%)	45 - 52
obsah polymeru (%)	35 - 46
obsah změkčovadla (%)	10 - 6
emulgátor/polymer	0,02 - 0,03
změkčovadlo/polymer	0,29-0,13
obsah vody (%)	50 - 40
velikost částic (μ)	1 - 3

U nás má PVAc disperse (CHZVP Nováky) velký obsah emulgátorů a ochranných koloidů (zbytky emulgačního mýdla a větší množství polyvinylalkoholu) a vykazuje botnání a velkou nasákavost (více než 35% váhy proti zahraničním výrobkům se 2-3% váhy).

Přísada PVAc k měkkým cementovým maltám a betonům při tvrdnutí v podmínkách normální vlhkosti (kolem 90% RV) vede k tím většímu snížení pevnosti (zvláště tlakové), čím větší je množství přísady.

V suchých podmínkách tvrdnutí (RV = 30-35%) je optimální množství přísady PVAc (50% váhy PVAc + 50% váhy vody) 20% váhy cementu. Za těchto podmínek pevnost betonu v tlaku za 28 dní se zvětší o 20 až 25%, pevnost betonu v tahu za ohybu téměř 2x.

Tloušťka vrstev z polymerbetonu nemá být větší než 5 cm, aby došlo k vytvrdnutí v obvyklé době 28 dnů.

Cementová malta z portlandského cementu 400 v poměru 1:2, při V/C = 0,33 a přísadě 20% PVAc tvrdnoucí v suchém prostředí dosáhne za měsíc pevnost v tahu za ohybu 200 kg/cm² a pevnost v tahu 480 až 500 kg/cm². Takový beton je podle některých autorů stálý při působení benzolu, benzínu, nafty, olejů, mořské vody, zředěných i koncentrovaných zásad. Nedostatkem tohoto betonu je vysoké smrštění, vysoké dotvarování a velké snížení pevnosti ve vodě

(na 0,4 pro tah a 0,6 pro tlak).

Přestože příměs PVAc není zejména z hlediska trvanlivosti ve vlhkém prostředí nejvhodnější, věnovalo se jejímu výzkumu jako přísady do betonu u nás mnoho pozornosti. Protože zjištěné závislosti mají obecnější platnost i pro jiné přísady tohoto druhu, všimneme si některých z nich.

Tak na obr. 66 je ukázána závislost tlakové a tahové pevnosti po 28 dnech na obsahu PVAc disperse. Jak již bylo řečeno, je nejvhodnější množství 20% sušiny PVAc váh., vztaženo k cementu. Pevnost v tlaku však klesá plynule s přidavkem PVAc. Absolutní

Obr. 66.

Změna tahové a tlakové pevnosti betonu podle množství přísady PVAc.

hodnoty pevnosti jsou silně ovlivněny vlhkostí, v níž probíhá tuhnutí a tvrdnutí. Souvisí to se stupněm vysychání disperse PVAc. Při větší vlhkosti trvá vysychání PVAc a nabývání konečných hodnot pevnosti dlouhou dobu, jak např. ukazuje obr. 67. pro RV 75% ve srovnání se samotným cementovým pojivem.

Obr. 67.

Růst pevnosti betonu s přísadou PVAc v čase.

Mezní protažení malty s příměsí 20% PVAc v tahu za ohybu je ve srovnání s cementovou maltou bez příměsí přibližně trojnásobné. Součinitel tepelné roztažnosti se neliší příliš od hodnot uváděných pro samotný beton a je cca $1,4 \times 10^{-5}$. Součinitel tepelné vodivosti je cca 0,42 kcal/m.h.°C (proti 0,48 u normálního betonu).

Daleko větší než u normálního betonu je smrštění směsi s příměsí PVAc, jak ukazuje obr. 68. Dosahuje až desetinásobku normál-

Obr. 68.

Smrštění betonu v závislosti od množství přísady PVAc a vlhkosti při tvrdnutí.

ního smrštění při tvrdnutí v suchém prostředí. Z hlediska smrštění je výhodnější větší vlhkost při tvrdnutí, což je ovšem opačný požadavek než pro pevnost. Je proto třeba volit jisté optimum pro podmínky ošetření a záleží na okolnostech, na kterou stranu (suché nebo vlhké prostředí) se přiklonit. Rozhodně pro zmenšení smrštění je třeba alespoň v prvních dnech - do vytvoření částečné cementové kostry - beton vlhčit. Jisté zmenšení smrštění je možno dosáhnout i použitím různých kopolymerů a přísad, zejména změkčovadel (organické estery jako dibutylftalát, dioktylftalát a trikresylfosfát). Značný význam má přísada PVAc na stupeň opotřebení (obrusnost).

Již 1% PVAc na váhu cementu snižuje obrus třikrát, 10% PVAc dvádnáctkrát a 20% PVAc až dvacetkrát. Významně se tak zabrání odprašování např. z cementových podlah. Rázová pevnost je při množství přísady 20% PVAc asi 12x vyšší než u betonu bez přísady, což rovněž je velice výhodné pro silně dynamicky namáhané podlahy (pojízdné vozíky a pod.).

Změnu pracovního diagramu v tlaku směsi s přísadou PVAc proti směsi bez přísady ukazuje obr. 69. Jeho tvar je sice výhodnější

Obr. 69.

Porovnání pracovního diagramu betonu s přísadou PVAc a bez ní.

pro směs s přísadou, nevýhodné je však snížení modulu pružnosti (o 20 až 35%), které ukazuje obr. 70.

Obr. 70.

Modul pružnosti betonu v závislosti na napětí a množství přísady PVAc.

Poissonův poměr je poněkud větší než u obyčejného betonu, při 20% přísady PVAc je 0,20. Relativní dlouhodobé přetvoření (vzhledem k počátečnímu pružnému) je u betonu (malt) s přísadou PVAc 5x větší než u betonu samotného.

(na 0,4 pro tah a 0,6 pro tlak).

Přestože příměs PVAc není - zejména z hlediska trvanlivosti ve vlhkém prostředí nejvhodnější, věnovalo se jejímu výzkumu jako přísady do betonu u nás mnoho pozornosti. Protože zjištěné závislosti mají obecnější platnost i pro jiné přísady tohoto druhu, všimneme si některých z nich.

Tak na obr. 66 je ukázána závislost tlakové a tahové pevnosti po 28 dnech na obsahu PVAc disperse. Jak již bylo řečeno, je nejvhodnější množství 20% sušiny PVAc váh., vztaženo k cementu. Pevnost v tlaku však klesá plynule s přidávkou PVAc. Absolutní

Obr. 66.

Změna tahové a tlakové pevnosti betonu podle množství přísady PVAc.

hodnoty pevnosti jsou silně ovlivněny vlhkostí, v níž probíhá tuhnutí a tvrdnutí. Souvisí to se stupněm vysychání disperse PVAc. Při větší vlhkosti trvá vysychání PVAc a nabývání konečných hodnot pevnosti dlouhou dobu, jak např. ukazuje obr. 67. pro RV 75% ve srovnání se samotným cementovým pojivem.

Obr. 67.

Růst pevnosti betonu s přísadou PVAc v čase.

Mezní protažení malty s příměsí 20% PVAc v tahu za ohybu je ve srovnání s cementovou maltou bez příměsí přibližně trojnásobné. Součinitel tepelné roztažnosti se neliší příliš od hodnot uváděných pro samotný beton a je cca $1,4 \times 10^{-5}$. Součinitel tepelné vodivosti je cca 0,42 kcal/m.h.°C (proti 0,48 u normálního betonu).

Daleko větší než u normálního betonu je smrštění směsi s příměsí PVAc, jak ukazuje obr. 68. Dosahuje až desetinásobku normál-

Obr. 68.

Smrštění betonu v závislosti od množství přísady PVAc a vlhkosti při tvrdnutí.

ního smrštění při tvrdnutí v suchém prostředí. Z hlediska smrštění je výhodnější větší vlhkost při tvrdnutí, což je ovšem opačný požadavek než pro pevnost. Je proto třeba volit jisté optimum pro podmínky ošetření a záleží na okolnostech, na kterou stranu (suché nebo vlhké prostředí) se přiklonit. Rozhodně pro zmenšení smrštění je třeba alespoň v prvních dnech - do vytvoření částečné cementové kostry - beton vlhčit. Jisté zmenšení smrštění je možno dosáhnout i použitím různých kopolymerů a přísad, zejména změkčovadel (organické estery jako dibutylftalát, dioktylftalát a trikresylfosfát). Značný význam má přísada PVAc na stupeň opotřebení (obrusnost).

Tiž 1% PVAc na váhu cementu snižuje obrus třikrát, 10% PVAc dvacetkrát a 20% PVAc až dvacetkrát. Významně se tak zabrání odprašování např. z cementových podlah. Rázová pevnost je při množství přísady 20% PVAc asi 12x vyšší než u betonu bez přísady, což rovněž je velice výhodné pro silně dynamicky namáhané podlahy (pojízdné vozíky a pod.).

Změnu pracovního diagramu v tlaku směsi s přísadou PVAc proti směsi bez přísady ukazuje obr. 69. Jeho tvar je sice výhodnější

Obr. 69.

Porovnání pracovního diagramu betonu s přísadou PVAc a bez ní.

pro směs s přísadou, nevýhodné je však snížení modulu pružnosti (o 20 až 35%), které ukazuje obr. 70.

Obr. 70.

Modul pružnosti betonu v závislosti na napětí a množství přísady PVAc.

Poissonův poměr je poněkud větší než u obyčejného betonu, při 20% přísady PVAc je 0,20. Relativní dlouhodobé přetvoření (vzhledem k počátečnímu pružnému) je u betonu (malt) s přísadou PVAc 3x větší než u betonu samotného.

(na 0,4 pro tah a 0,6 pro tlak).

Přestože příměs PVAc není- zejména z hlediska trvanlivosti ve vlhkém prostředí nejvhodnější, věnovalo se jejímu výzkumu jako přísady do betonu u nás mnoho pozornosti. Protože zjištěné závislosti mají obecnější platnost i pro jiné přísady tohoto druhu, všimneme si některých z nich.

Tak na obr. 66 je ukázána závislost tlakové a tahové pevnosti po 28 dnech na obsahu PVAc disperse. Jak již bylo řečeno, je nejvhodnější množství 20% sušiny PVAc váh., vztaženo k cementu. Pevnost v tlaku však klesá plynule s přidávkem PVAc. Absolutní

Obr. 66.

Změna tahové a tlakové pevnosti betonu podle množství přísady PVAc.

hodnoty pevnosti jsou silně ovlivněny vlhkostí, v níž probíhá tuhnutí a tvrdnutí. Souvisí to se stupněm vysychání disperse PVAc. Při větší vlhkosti trvá vysychání PVAc a nabývání konečných hodnot pevnosti dlouhou dobu, jak např. ukazuje obr. 67. pro RV 75% ve srovnání se samotným cementovým pojivem.

Obr. 67.

Růst pevnosti betonu s přísadou PVAc v čase.

Mezní protažení malty s příměsí 20% PVAc v tahu za ohybu je ve srovnání s cementovou maltou bez příměsí přibližně trojnásobné.

Součinitel tepelné roztažnosti se neliší příliš od hodnot uváděných pro samotný beton a je cca $1,4 \times 10^{-5}$. Součinitel tepelné vodivosti je cca 0,42 kcal/m.h.°C (proti 0,48 u normálního betonu).

Daleko větší než u normálního betonu je smrštění směsí s příměsí PVAc, jak ukazuje obr. 68. Dosahuje až desetinásobku normál-

Obr. 68.

Smrštění betonu v závislosti od množství přísady PVAc a vlhkosti při tvrdnutí.

ního smrštění při tvrdnutí v suchém prostředí. Z hlediska smrštění je výhodnější větší vlhkost při tvrdnutí, což je ovšem opačný požadavek než pro pevnost. Je proto třeba volit jisté optimum pro podmínky ošetření a záleží na okolnostech, na kterou stranu (suché vlhké prostředí) se přiklonit. Rozhodně pro zmenšení smrštění je třeba alespoň v prvních dnech - do vytvoření částečné cementové kostry - beton vlhčit. Jisté zmenšení smrštění je možno dosáhnout i použitím různých kopolymerů a přísad, zejména změkčovadel (organické estery jako dibutylftalát, dioktylftalát a trikresylfosfát). Značný význam má přísada PVAc na stupeň opotřebení (obrusnost).

Již 1% PVAc na váhu cementu snižuje obrus třikrát, 10% PVAc dvánáctkrát a 20% PVAc až dvacetkrát. Významně se tak zabrání odprašování např. z cementových podlah. Rázová pevnost je při množství přísady 20% PVAc asi 12x vyšší než u betonu bez přísady, což rovněž je velice výhodné pro silně dynamicky namáhané podlahy (pojízdné vozíky a pod.).

Změnu pracovního diagramu v tlaku směsi s přísadou PVAc proti směsi bez přísady ukazuje obr. 69. Jeho tvar je sice výhodnější

Obr. 69.

Porovnání pracovního diagramu betonu s přísadou PVAc a bez ní.

pro směs s přísadou, nevýhodné je však snížení modulu pružnosti (o 20 až 35%), které ukazuje obr. 70.

Obr. 70.

Modul pružnosti betonu v závislosti na napětí a množství přísady PVAc.

Poissonův poměr je poněkud větší než u obyčejného betonu, při 10% přísady PVAc je 0,20. Relativní dlouhodobé přetvoření (vzhledem k počátečnímu pružnému) je u betonu (malt) s přísadou PVAc 3x větší než u betonu samotného.

Jednou z význačných vlastností polymercementových směsí je jejich výborná soudržnost prakticky se všemi stavebními materiály. Tato vlastnost přímo vyplývá z vysoké přilnavosti polyvinylacetátu a z jeho schopnosti pronikat v dispersní formě do povrchových vrstev většiny hmot. Při spojování se starým betonem se dosáhne takové soudržnosti, že při namáhání styku tahem a smykem jsou pevnosti styku větší než pevnosti starého betonu - dojde k porušení mimo styčnou spáru. To vlastně dává v praxi nejcennější možnost při různých opravách trhlin, porušených míst, zesilování, přibetonování, nanášením nových vrstev atd. Při provádění takových oprav je třeba jen dbát na dostatečné vlhčení starého betonu vodou, nebo lépe smočení (penetraci) přímo deispersí PVAc.

Uplatnění polymercementových malt a betonu v praxi je především pro rekonstrukci staveb, dále pro silně mechanicky namáhané podlahy (př. i chemickými oleji, ropou) a konečně k ochranným nátěrům betonových konstrukcí (pačokování).

10.4. Jiné přísady polymerů do cementových betonů

Výhodnější než polyvinylacetátové disperse, která kromě některých výhod přináší i nevýhody těžko překonatelné (např. zvýšená nasákavost betonu, botnání ve vlhkém prostředí), jsou přísady roztočny ku polyvinylchloridu. Příklad této plastické hmoty zvyšuje asi o 50% pevnost v tahu za ohybu, zvyšuje odolnost nárazu a soudržnost s normálním betonem je minimálně 28 kg/cm². Nevýhodou je, že disperze se s cementem je značně nestabilní.

Více se uplatňují v dispersích kopolymery vinylchloridu, které mají především dobrou odolnost proti vodě. Nejrozšířenější jsou kopolymery vinylchloridu s vinylacetátem, vinylchloridu s akrylonitrilem a vinylchloridu a vinylidenchloridem.

Kopolymer styren-akrylátový dává výborné mechanické vlastnosti při poměrně dobré odolnosti vodě.

Nejnadhjnější pro zabezpečení vysoké nepropustnosti a odolnosti betonu, ale nejméně prozkoumané jsou polymery čtvrté skupiny; přidávají se bezprostředně k betonové směsi a zacpávají její póry roztavením při propařování a následným zatvrdnutím při ochlazení.

Přísada tvrdých dispergovaných polymerů nemusí zřejmě snížit stavební vlastnosti betonu. Jedním z nejvíce zajímavých představitelů polymerů této skupiny je tavenina tvrdého polyetylenu a polyisobutyleny. Poměr mezi nízkotlakým polyetylenem a polyisobutylenem se volí tak, aby teplota jejich tavení se pohybovala okolo 70-80°C. Materiál se přimísí do betonové směsi jako mletý prášek s poměrnou povrchovou plochou okolo 1000 cm/g.

Beton s přísadou prášku podrobí se tepelnému ošetření při teplotě 85-100° nejméně 4 1/2 hodiny. V době zvýšené teploty vytváří se struktura cementového kamene v betonu. Množství přísady má být okolo 30% objemu pórů v betonu (25-40 kg/m³). Vodní součinitel je 0,4-0,5. Možné doplňkové přísady do takového betonu jsou: chlorid železnatý okolo 1% váhy cementu nebo chlorid vápenatý okolo 2% váhy cementu.

Beton s přísadou polyetyleny a polyisobutyleny je stálý ve všech prostředích kromě silných oxidáčidel a kyselin. Příklad tohoto polymeru značně zlepšují i další vlastnosti betonu - pevnost v tahu, mrazuvzdornost atd.

Ke zvýšení hydrofobnosti betonu i jiných stavebních materiálů lze použít jako příměsí do betonu také metylsilanolátu ve formě suchého prášku.

Jednou z význačných vlastností polymercementových směsí je její výborná soudržnost prakticky se všemi stavebními materiály. Tato vlastnost přímo vyplývá z vysoké přilnavosti polyvinylacetátu a z jeho schopnosti pronikat v dispersní formě do povrchových vrstev většiny hmot. Při spojování se starým betonem se dosáhne takové soudržnosti, že při namáhání styku tahem a smykem jsou pevnosti styku větší než pevnosti starého betonu - dojde k porušení mimo styčnou spáru. To vlastně dává v praxi nejcennější možnosti při různých opravách trhlin, porušených míst, zesilování, přibetonování, nanášení nových vrstev atd. Při provádění takových oprav je třeba jen dbát na dostatečné vlhčení starého betonu vodou, nebo lépe smočení (penetraci) přímo deispersí PVAc.

Uplatnění polymercementových malt a betonu v praxi je především pro rekonstrukci staveb, dále pro silně mechanicky namáhané podlahy (př. i chemickými oleji, ropou) a konečně k ochranným nátěrům betonových konstrukcí (pačokování).

10.4. Jiné přísady polymerů do cementových betonů

Výhodnější než polyvinylacetátové disperse, která kromě některých výhod přináší i nevýhody těžko překonatelné (např. zvýšená nasákavost betonu, botnání ve vlhkém prostředí), jsou přísady roztoku polyvinylchloridu. Přísada této plastické hmoty zvyšuje asi o 50% pevnost v tahu za ohybu, zvyšuje odolnost nárazu a soudržnost s normálním betonem je minimálně 28 kg/cm². Nevýhodou je, že disperze s cementem je značně nestabilní.

Více se uplatňují v dispersích kopolymery vinylchloridu, které mají především dobrou odolnost proti vodě. Nejrozšířenější jsou kopolymery vinylchloridu s vinylacetátem, vinylchloridu s akrylonitrilem a vinylchloridu a vinylidenchloridem.

Kopolymer styren-akrylátový dává výborné mechanické vlastnosti při poměrně dobré odolnosti vodě.

Nejnadhjnější pro zabezpečení vysoké nepropustnosti a odolnosti betonu, ale nejméně prozkoumané jsou polymery čtvrté skupiny; přidávají se bezprostředně k betonové směsi a zacpávají její póry roztavením při propařování a následným zatvrdnutím při ochlazení.

Přísada tvrdých dispergovaných polymerů nemusí zřejmě snížit stavební vlastnosti betonu. Jedním z nejvíce zajímavých představitelů polymerů této skupiny je tavenina tvrdého polyetylenu a polyisobutylenu. Poměr mezi nízkotlakým polyetylenem a polyisobutylenem se volí tak, aby teplota jejich tavení se pohybovala okolo 70-80°C. Materiál se přimísí do betonové směsi jako mletý prášek s poměrnou povrchovou plochou okolo 1000 cm/g.

Beton s přísadou prášku podrobí se tepelnému ošetření při teplotě 85-100°C nejméně 4 1/2 hodiny. V době zvýšené teploty vytváří se struktura cementového kamene v betonu. Množství přísady má být okolo 30% objemu pórů v betonu (25-40 kg/m³). Vodní součinitel je 0,4-0,5. Možné doplňkové přísady do takového betonu jsou: chlorid železnatý okolo 1% váhy cementu nebo chlorid vápenatý okolo 2% váhy cementu.

Beton s přísadou polyetylenu a polyisobutylenu je stálý ve všech prostředích kromě silných oxidizujících a kyselin. Přísady tohoto polymeru značně zlepšují i další vlastnosti betonu - pevnost v tahu, mrazuvzdornost atd.

Ke zvýšení hydrofobnosti betonu i jiných stavebních materiálů lze použít jako příměsí do betonu také metylsilanolátu ve formě suchého prášku.

13. Skelné lamináty

Skelné lamináty představují rozsáhlou skupinu chemicky odolných konstrukčních materiálů na bázi plastických hmot. Pevná kestra těchto materiálů je vytvořena ze skelných tkanin nebo vláken, pojivo je různé; používá se nejčastěji pryskyřic fenolformaldehydových, polyesterových, epoxydových, furanových.

Výroba laminátů z tkanin nebo rohoží je poměrně jednoduchá. Tkanina se impregnuje pryskyřicí buď máčením (při kontinuální výrobě) a přikládá nebo navinuje se na formu opatřenou separátorem (prostředkem usnadňujícím sejmutí výrobků z formy) nebo při ruční výrobě se pryskyřice nanáší stěrkou na tkaninu upevněnou na formě. Tento postup se opakuje tolikrát, až se dosáhne požadované tloušťky laminátu. Konečné tvrzení probíhá za studena i tepla, za tlaku nebo bez tlaku podle druhu pryskyřice, množství a druhu tužidla. K dosažení hladkých a lesklých ploch se povrch forem potahuje vrstvou celofánu, který se po vytvrzení laminátu odstraní.

Lamináty ze skelných vláken se vyrábějí v podstatě dvěma způsoby:

a) Sekaná skelná vlákna se proudem vzduchu unáší do uzavřeného prostoru, kde víří. Do prostoru se vhání jemně rozptýlená pryskyřice smíšená s tužidlem. Vlákna obalená tenkou vrstvou pryskyřice padají na dno komory, odkud se vybírají a dále zpracovávají obvykle lisováním za tepla a tlaku na různé předměty. Jinak se mohou vlákna obalená pojivem odsávat do prostoru, ve kterém jsou umístěny perforované formy, jimiž je vzduch odsáván. Stržená vlákna se hromadí ve formě. Po dosažení požadované tloušťky se vytvořená plst, jež sleduje přibližně danou formu, zpracuje lisováním za tepla. Vyrábějí se tak různé nádržky, vany, mořící koše a pod.

b) Druhý způsob výroby laminátů z vláken je tzv. stříkání laminátů. Provádí se speciální aparaturou, jejimiž součástmi jsou jednak zařízení na sekání skleněných vláken z pramenů na kousky o délce 2-5 cm a jejich dopravu vzduchem do stříkací hubice, jednak zařízení na kontinuální míšení pryskyřice s tužidlem a rovněž jejich dopravu do hubice. V ústí hubice jsou trysky pro rozptýlování pryskyřice popř. i pro přidávání dalších plniv (křemičité nebo grafitová mikroplniva). Sekaná vlákna vyletují z hubice do rozptýlené pryskyřice, obalí se jí a dopadají přímo na formu pod tlakem, zajišťujícím zároveň dostatečné základní zhutnění. Další zhutnění takto nastříkané skleněné plsti se provádí válečkováním. Tento výrobní postup je vhodný pro všechny druhy výrobků, ale zejména se uplatní k nanášení přímo na stavbě. Používá se zde k vodonepropustným a chemicky odolným izolacím, majícím poměrně vysokou pevnost. Nejznámější zařízení na stříkání laminátů vyrábí firma MAS-Aust-Schüttler (NSR) a Polyspray (Rakousko).

Poměr pojiva a plniva (vláken nebo tkaniny) zajišťuje jisté mechanicko-fyzikální vlastnosti laminátů. Zejména je důležitý tento poměr pro nepropustnost. Obsah skla se pohybuje v rozmezí 30-80% váh. Je závislý na mnoha faktorech, hlavně druhu pojiva a způsobu zpracování. Přebytek pojiva snižuje pevnost, modul pružnosti a teplotnou odolnost, nedostatek pojiva naopak je příčinou propustnosti. Je výhodné s hlediska některých vlastností (vyšší modul pružnosti, větší odolnost ohni) i s hlediska ekonomického přidávat k pojivu ještě mikroplnivo práškové, v množství 20-30%. Barvení laminátů je možné, pokud použité pryskyřice po vytvrzení jsou samy bezbarvé nebo světlé (epoxy, polyester). Fenolové lamináty lze barvit jen nezezeze, furanové vůbec ne. Má-li mít barvený laminát stejnou chemickou odolnost jako nebarvený, je samozřejmě nutné, aby použitá barva byla také stálá proti chemickým vlivům.

Sklo pro výrobu laminátů má být velmi kvalitní, bezalkalické, první nebo druhé hydrolytické třídy. Tkaniny pro lamináty mají po nejvíce plátňovou nebo keprovou vazbu, méně atlasovou. Používají se ale také rohože prošivané, případně i pojené pryskyřicí.

Pro výrobu laminátů lze používat výhodně i jiné tkaniny, např. z taveného čediče.

Lamináty se liší od ostatních plastických hmot jednak tím, že materiál nemá ve všech směrech stejné vlastnosti - je anisotropní, jednak tím, že jeho vlastnosti jsou dány (s výjimkou organických plniv) spojením viskosně-elastického chování pojiva a téměř ideálně elastického chování výztuže.

Nauvažuje-li se podrobně vliv technologických činitelů, lze konstatovat, že mechanické vlastnosti jsou ovlivněny především - textilní vlastností plniva (vazba, jakost pramenů, pevnost a tloušťka u tkanin, orientace a spojení vláken v rohožích atd.), - obsahem pojiva v materiálu a jeho spojením s pryskyřicí, - mechanickým, zvláště termomechanickým chováním pryskyřice.

Důležitá je závislost pevnosti laminátu na směru působící síly, vzhledem ke druhu (orientaci) výztuže. Obrázek 71 ukazuje takovou závislost na úhlu namáhání pro tři typy sklem vyztužených plastických hmot (rohož, skleněná tkanina osnova:útek=1:1, skleněná tkanina se zvýšenou pevností v jednom směru). Lze říci, že skelné

Obr. 71.

Závislost meze pevnosti v tahu na úhlu namáhání vzhledem k poloze výztuže.

lamináty vyztužené rohoží lze považovat za isotropní právě tak, jako materiály vyztužené neuspořádanými skleněnými vlákny. Za ortotropní je nutno považovat materiály ze speciálních orientovaných rohoží a veškeré skelné lamináty z tkaniny. Pevnost laminátů je úměrná pevnosti skelné výztuže.

Přítomnost polymeru ve skelném laminátu způsobuje, že tento materiál má do jisté míry mechanické chování společné všem plastickým hmotám: jeho deformace při zatížení vzrůstá s časem, přičemž rychlost deformace značně závisí na teplotě. Vliv druhu pryskyřice na pružnost a pevnost laminátu ukazuje obr. 72. Změna modulu pružnosti na teplotě pro epoxydovou pryskyřici a epoxydový laminát při použití tkaniny YPLAST 35 je vidět z obr. 73. Pokles pružnosti nastává v blízkosti teploty tvarové stálosti samotné pryskyřice. Z toho lze soudit, že zhruba do 40°C, pod teplotou měknutí pryskyřice se modul pružnosti podstatně nemění, pak až do teploty měknutí pryskyřice klesá modul pružnosti v tahu o 20-30%. Trvalý modul pružnosti u laminátů je jen 30-50% krátkodobé hodnoty. Pokles pevnosti s časem je rovněž poměrně značný a je nezbytné s ním při návrhu počítat. Pro různé pryskyřice ukazuje pokles pevnosti obr. 74. Poissonův součinitel skelných laminátů je 0,13 až 0,25 podle tkaniny a pryskyřice. Pravděpodobná hodnota dlouhodobé pevnosti je asi 40% krátkodobé, bezpečné trvalé napětí se doporučuje na 25-15% krátkodobé pevnosti, takže zdaleka nelze využít vynikajících krátkodobých vlastností laminátů.

Rovněž různí vnější činitelé velmi ovlivňují mechanické vlastnosti laminátů. Např. změny polyesterového laminátu působením vody ilustrují údaje podle tabulky 40.

Chemická odolnost skelných laminátů je dána především druhem použité pryskyřice. Druhem použité pryskyřice je dáno i použití laminátu.

Obr. 72 - Vliv druhu pryskyřice na mechanické vlastnosti laminátů

Obr. 73.- Změna modulu pružnosti epoxydového laminátu a epoxydové pryskyřice s teplotou.

Obr. 74 - Pokles pevnosti různých skelných laminátů s časem.

Sklo pro výrobu laminátů má být velmi kvalitní, bezalkalické, první nebo druhé hydrolytické třídy. Tkaniny pro lamináty mají nejvíce plátňovou nebo keprovou vazbu, méně atlasovou. Používají se ale také rohože prošivané, případně i pojené pryskyřicí.

Pro výrobu laminátů lze používat výhodně i jiné tkaniny, např. z taveného čediče.

Lamináty se liší od ostatních plastických hmot jednak tím, že materiál nemá ve všech směrech stejné vlastnosti - je anisotropní, jednak tím, že jeho vlastnosti jsou dány (s výjimkou organických plniv) spojením viskosně-elastického chování pojiva a téměř ideálně elastického chování výztuže.

Neuváží-li se podrobně vliv technologických činitelů, lze konstatovat, že mechanické vlastnosti jsou ovlivněny především - textilní vlastnosti plniva (vazba, jakost pramenů, pevnost a tloušťka u tkanin, orientace a spojení vláken v rohožích atd.), - obsahem pojiva v materiálu a jeho spojením s pryskyřicí, - mechanickým, zvláště termomechanickým chováním pryskyřice.

Důležitá je závislost pevnosti laminátu na směru působící síly, vzhledem ke druhu (orientaci) výztuže. Obrázek 71 ukazuje takovou závislost na úhlu namáhání pro tři typy sklem vyztužených plastických hmot (rohož, skleněná tkanina osnova:útek=1:1, skleněná tkanina se zvýšenou pevností v jednom směru). Lze říci, že skelné

Obr. 71.

Závislost meze pevnosti v tahu na úhlu namáhání vzhledem k poloze výztuže.

lamináty vyztužené rohoží lze považovat za isotropní právě tak, jako materiály vyztužené neuspořádanými skleněnými vlákny. Za ortotropní je nutno považovat materiály ze speciálních orientovaných rohoží a voškeré skelné lamináty z tkaniny. Pevnost laminátů je úměrná pevnosti skelné výztuže.

Přítomnost polymeru ve skelném laminátu způsobuje, že tento materiál má do jisté míry mechanické chování společné všem plastickým hmotám: jeho deformace při zatížení vzrůstá s časem, přičemž rychlost deformace značně závisí na teplotě. Vliv druhu pryskyřice na pružnost a pevnost laminátu ukazuje obr. 72. Změna modulu pružnosti na teplotě pro epoxydovou pryskyřici a epoxydový laminát při použití tkaniny YPLAST 35 je vidět z obr. 73. Pokles pružnosti nastává v blízkosti teploty tvarové stálosti samotné pryskyřice. Z toho lze soudit, že zhruba do 40°C pod teplotou měknutí pryskyřice se modul pružnosti podstatně nemění, pak až do teploty měknutí pryskyřice klesá modul pružnosti v tahu o 20-30%. Trvalý modul pružnosti u laminátů je jen 30-50% krátkodobé hodnoty. Pokles pevnosti s časem je rovněž poměrně značný a je nezbytné s ním při návrhu počítat. Pro různé pryskyřice ukazuje pokles pevnosti obr. 74. Poissonův součinitel skelných laminátů je 0,13 až 0,25 podle tkaniny a pryskyřice. Pravděpodobná hodnota dlouhodobé pevnosti je asi 40% krátkodobé, bezpečné trvalé napětí se doporučuje na 25-15% krátkodobé pevnosti, takže zdaleka nelze využít vynikajících krátkodobých vlastností laminátů.

Rovněž různí vnější činitelé velmi ovlivňují mechanické vlastnosti laminátů. Např. změny polyesterového laminátu působením vody ilustrují údaje podle tabulky 40.

Chemická odolnost skelných laminátů je dána především druhem použité pryskyřice. Druhem použité pryskyřice je dáno i použití laminátu.

Obr. 72 - Vliv druhu pryskyřice na mechanické vlastnosti laminátů

Obr. 73. - Změna modulu pružnosti epoxydového laminátu a epoxydové pryskyřice s teplotou.

Obr. 74 - Pokles pevnosti různých skelných laminátů s časem.

Tabulka 40.

Změny mechanických vlastností polyesterových skelných laminátů po 14denním působení vody.

Voda	Pevnost v ohybu				Pevnost v tlaku	
	materiál namáhán kolmo na vrstvy		materiál namáhán ve směru vrstev			
	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
Suchý materiál	5590	100	4710	100	1910	100
destilovaná	3600	64,4	2810	59,8	850	44,5
neutrální pH=6,8 až 7,2	3480	62,3	2770	58,9	910	47,6
Tvrdá pH=4,5	3610	64,5	2830	60,0	980	51,4
Upravená H ₂ SO ₄ Alkalická pH=9	3570	63,8	2690	57,2	905	47,4
Upravená NaOH						

Zkušební materiál zhotoven z pryskyřice CHS Polyester 104 a neapretované tkaniny Yrma 1, obsah skla 59 vah. %.

Novolakové lamináty, jež se vyrábějí lisováním při teplotě 120 až 150°C (z formaldehydových nebo kresolformaldehydových pryskyřic) do desek maximálního rozměru 1250 . 800 mm a tloušťky 2 až 30 mm, odolávají vodě a roztokům solí až do 80°C trvale, přechodně při vyšších teplotách. Dále odolávají většině rozpustidel a slabým zásadám. Neodolávají oxidačním látkám a kyselinám vyšších koncentrací. Je možno dodávat i tvarované výrobky; lamináty se spojují lepením, většinou Umacolem B. Výrobky z novolakových laminátů se nesmějí používat v potravinářském průmyslu, pro ochranu proti méně agresivním vodám však výborně vyhovují. Některé vlastnosti novolakových laminátů jsou obsaženy v další tabulce 41.

Tabulka 41.

Měrná hmota t/m ³	1,3 - 1,8
Pevnost v tahu kg/cm ²	500 - 900
Pevnost v ohybu kg/cm ²	750 - 1200
Pevnost v ohybu rázem kgcm/cm ²	30 - 60
Teplná odolnost podle Martense °C	160
Nasákavost %	0,7 - 2,5

Polyesterové lamináty jsou zatím nejznámější a nejpoužívanější, hlavně pro výrobu střešních krytin, nádrže, nepropustné a poměrně dobře chemicky odolné izolace, trouby pro odsávání plynů, pro odvod kapalin. Jsou výborně odolné proti bělicím oxidačním látkám, např. kysličníku chloričitému, roztokům peroxydu a suchému plynnému chloru. Odolávají zředěným kyselinám, zásadám, roztokům solí a některým rozpouštědlům. Vůči působení plynu jsou téměř úplně odolné. Speciální druhy odolávají i zásaditým bělicím louhům - chlornanům.

V zahraničí se již běžně vyrábějí laminátové trouby, nádrže a pod. průmyslově: např. ve Švédsku se vyrábí kontinuálně navinovaním v libovolných délkách (až do 10 m) trouby o průměru 50 až 150 mm s tloušťkou stěny 1 až 2 mm, o průměru 200 až 1200 mm s tloušťkou stěny 2 až 3 mm.

V oboru ochrany stavebního díla se stále více prosazují stříkané polyesterové lamináty, zhotovené a nanášené přímo na konstrukční beton nebo na jiné zdivo. Nahrazují obklady v bazenech, nádržích, kanálech a pod. a současně laminát slouží jako nepropustná izolace s velmi dobrou chemickou odolností proti mnoha agresivním prostředkům. Jako pojivo se všeobecně užívá nenasyčených polyesterových pryskyřic. Na stavební podklad se nejprve nanese adhesní vrstva z čisté pryskyřice bez vláken, při hrubém podkladu jsou vhodné 2

vrstvy. Pak se nastříká vlastní laminát, zhutní se válečkováním, načež se nastříká první uzavírací vrstva a po jejím přebroušení se nastříká druhá a konečně třetí poslední uzavírací vrstva. Zajistění naprosté nepropustnosti (při vyšším tlaku) záleží od pečlivého zhutnění. Obsah vláken nemá být menší než 30% váh. Pórovitost hotových laminátů lze zkoušet vysokonapětovými jiskrovými indukto-ry. Obvyklá tloušťka stříkaných laminátů je 2 až 3 mm. Množství tu-židla a urychlovače je třeba volit podle okolní teploty. Některé vlastnosti polyesterových laminátů uvádí tabulka 42.

Epoxydové lamináty se více používají v zahraničí, hlavně v potra- vinařském průmyslu. Pro větší viskozitu pryskyřic je obvykle práce při nanášení obtížnější. Zpracovatelnost zlepší sice přísada ředi- del, současně však se sníží mechanické vlastnosti, zejména nepropust- nost a chemické odolnost. Epoxydové lamináty z těchto důvodů se ve- směs dělají jen ručním nanášením. Tvrdnou při normalní i zvýšené teplotě a lepší výrobky se získají lisováním. Lamináty jsou výbor- ně odolné povětrnostním vlivům. Používají se pro nádrže, kouřovody, potrubí a pod. Některé vlastnosti epoxydových laminátů jsou uveđe- ny v tab. 43.

Pro stavbu výrobních zařízení dosáhly zatím největšího rozšíření (nikoliv u nás - k naší škodě) - furanové lamináty. Pojivem je fu- rylalkoholová pryskyřice, která po vytvrzení odolává všem neoxydu- jícím kyselinám, zásadám i roztokům solí. Lze z nich vyrábět zásob- níky na kyseliny i zásady, mořící vany a koše, vany pro elektro- lyzu, absorpční a prací věže, rozředovače, neutralizátory, různá potrubí, ventilý, klapky, čerpadla, ventilátory atd. Vlastnosti furylalkoholových laminátů udává tabulka 44.

Tabulka 42

Vlastnost	Sklenná tkanina s plát- novou vazbou		Atlas	Rovnoběžná vlákna	Rohož
	jemná	hrubá			
Měrná hmota t/m ³	1,6-1,8	1,7-1,9	1,7-1,9	1,7-1,9	1,5-1,6
Modul pružnosti kg/cm ²	14-21.10 ⁴	13-19.10 ⁴	15-22.10 ⁴	35-50.10 ⁴	7-14.10 ⁴
Pevnost v tahu kg/cm ²	2500-3000	2500-3000	2800-3500	5500-9000	1000-1600
Pevnost v tlaku kg/cm ²	2000-2500	900-1400	2000-2500	3500-5500	1000-1200
Pevnost v ohybu kg/cm ²	3500-4500	2000-2800	3500-4500	7000-14000	1500-2500
Rázová houževnatost (srovnávací čísla)	1	1,3	1,25	3,1	0,9
Součinitel tepelné roztážitelnosti 1/°C			2.10 ⁻⁵		
Tepelná vodivost kcal/m h °C			0,1		
Měrné teplo kcal/kg °C			0,25		
Nasákavost (24 hod.) %			0,3 - 0,9		
Elektrická pevnost kV/mm			8 - 24		
Měrný vnitřní odpor ohm.cm			10 ⁶ - 10 ¹²		

Tabulka 43.

Vlastnost	Kontaktní vytvřené za studena	Lisované za rovnoběžná vlákna	Lisované za horká tkaniny	Sklotextil U ČSN 644412
Měrná hmota t/m ³	1,4-1,6	1,7-1,9	1,7-1,9	1,6-1,9
Modul pružnosti kg/cm ²	10-14.10 ⁴	35-50.10 ⁴	15-35.10 ⁴	-
Pevnost v tahu kg/cm ²	1800-2400	7000-9000	2500-3500	2000-2000
Pevnost v tlaku kg/cm ²	2600	4500-6000	3500-6000	2000-4500
Pevnost v ohybu kg/cm ²	2000-3500	7000-14000	3000-5500	4000-4000
Rázová houževnatost kgcm/cm ²	70-80	-	-	100 - 100
Vrubová houževnatost kgcm/cm ² (Izod)	65	270 - 300	53-130	-
Odolnost za tepla (Martens)/°C	-	-	-	160
Součinitel tepelné rozsáznosti 1/°C	-	10.10 ⁻⁶	10.10 ⁻⁶	-
Tepelná vodivost kcal/mh.°C	-	0,26	0,26	-
Měrné teplo kcal/kg.°C	-	0,21	0,21	-
Nasákavost (24 hod.) %	-	0,05-0,25	0,05-0,25	0,4 (96 hod.)
Elektrická pevnost kv/mm	15	16-30	16-30	20-30
Měrný vnitřní odpor ohm.cm	10 ¹³ -10 ¹⁴	10 ¹² -10 ¹³	-	10 ¹¹ -10 ¹²

Tabulka 44.

Měrná hmota	1,7 g/cm ³
Pevnost v tlaku: souběžně s povrchem	800 kg/cm ²
kolmo na povrch	2100 kg/cm ²
Pevnost v tahu	500 kg/cm ²
Pevnost v ohybu	1000 kg/cm ²
Pevnost v ohybu rázem	50 cm . kp/cm ²
Modul elasticity	55 000 kg/cm ²
Tepelná vodivost	0,3 kcal/m h.°C
Délková roztažnost	0,03 mm/m.°C
Nasákavost	0,1-0,2 %
Nejvyšší teplota použití trvale	100°C
" " " přechod.	150°C
Nejnižší teplota použití trvale	40°C

Pro některé aplikace jsou výhodné silikonové skelné lamináty. Mají vysokou tepelnou odolnost (až 300°C), velmi dobré elektrické vlastnosti i při vysokých teplotách. Mechanické vlastnosti jsou horší než např. u fenolických a epoxydových laminátů. Teprve při vyšších teplotách je předčí. Silikonové skelné lamináty se vyrábí lisováním skleněné tkaniny impregnované pryskyřicí. Používají se zejména pro speciální elektroisolační a mechanické konstrukční díly pro vysoké teploty, trouby, kryty, různá elektrotechnická zařízení namáhaná vysokou teplotou. Odolává vodě, povětrnosti, radiacním účinkům, uhlovodíkům; speciální druhy odolávají kyselinám a zásadám. Jejich vlastnosti udává tabulka 45.

Tabulka 45.

Měrná hmota g/cm^3	1,9
Modul pružnosti kg/cm^2	$15-18 \cdot 10^4$
Pevnost v tahu kg/cm^2	1500-2000
Pevnost v tlaku kg/cm^2	2800-3200
Pevnost v ohybu kg/cm^2	1500-2500
Vrubová houževnatost (Izod) $kgcm/cm^2$	65-80
Koeficient tepelné roztažnosti $1/^\circ C$	$7 \cdot 10^{-6}$
Tepelná vodivost $kcal/m/h^\circ C$	0,25
Měrné teplo $kcal/kg^\circ C$	0,26
Nasákavost (24 hod.) %	0,1-0,6
Elektrická pevnost kV/mm	6-8
Měrný vnitřní odpor $ohm \cdot cm$	$10^{11}-10^{14}$

14. Lehčené plastické hmoty

Prakticky každou plastickou hmotu je možné připravit jako lehčenou: použití podmiňuje ovšem cena a dostupnost velkého množství, u dostupných hmot rozhodují ještě vlastnosti a způsob výroby.

Podle ČSN 640001 se dělí lehčené plastické hmoty na

- a) měkké a pružné
 - (aa) mechovitě (s uzavřenými, nespojitými dutinkami)
 - ab) houbovitě (s otevřenými, navzájem spojenými dutinkami různých tvarů a velikostí)
- b) tvrdé
 - ba) pěnovitě (dutinky různých tvarů, uzavřené, nespojitě)
 - bb) pórovitě (dutinky různých tvarů, otevřené, navzájem spojené)
 - bc) plástové (pravidelné dutinky orientované v jednom směru).

Pro stavebnictví mají význam především tvrdé lehčené hmoty, zejména

- a) lehčené fenolické hmoty
- b) lehčené močovinoformaldehydové hmoty
- c) lehčený polystyren
- d) lehčený polyuretan
- e) lehčený polyvinylchlorid

Pěnové plastické hmoty mají široké možnosti použití. Hodí se zejména pro výplňovou izolační vrstvu sendvičových panelů a k různým druhům izolací. Tak např. je možné vyplňovat dutiny v obvodovém plášti, nebo plášť obkládat deskami nebo jej opatřit nastříkanou vrstvou. Je možno použít např. předpěněné kuličky Unapolaru S jako plnivo betonu ať již cementového nebo plastobetonu. Výborně se využijí pěnovky z plastických hmot k izolaci

Tabulka 45.

Měrná hmota g/cm^3	1,9
Modul pružnosti kg/cm^2	$15-18 \cdot 10^4$
Pevnost v tahu kg/cm^2	1500-2000
Pevnost v tlaku kg/cm^2	2800-3200
Pevnost v ohybu kg/cm^2	1500-2500
Vrubová houževnatost (Izod) $kgcm/cm^2$	65-80
Koeficient tepelné roztažnosti $1/^\circ C$	$7 \cdot 10^{-6}$
Tepelná vodivost $kcal/m/h^\circ C$	0,25
Měrné teplo $kcal/kg^\circ C$	0,26
Nasákavost (24 hod.) %	0,1-0,6
Elektrická pevnost kV/mm	6-8
Měrný vnitřní odpor $ohm \cdot cm$	$10^{11}-10^{14}$

14. Lehčené plastické hmoty

Prakticky každou plastickou hmotu je možné připravit jako lehčenou: použití podmiňuje ovšem cena a dostupnost velkého množství, u dostupných hmot rozhodují ještě vlastnosti a způsob výroby.

Podle ČSN 640001 se dělí lehčené plastické hmoty na

- a) měkké a pružné
 - aa) mechovitě (s uzavřenými, nespojitými dutinkami)
 - ab) houbovitě (s otevřenými, navzájem spojenými dutinkami různých tvarů a velikostí)
- b) tvrdé
 - ba) pěnovitě (dutinky různých tvarů, uzavřené, nespojitě)
 - bb) pórovitě (dutinky různých tvarů, otevřené, navzájem spojené)
 - bc) plástové (pravidelné dutinky orientované v jednom směru).

Pro stavebnictví mají význam především tvrdé lehčené hmoty, zejména

- a) lehčené fenolické hmoty
- b) lehčené močovinoformaldehydové hmoty
- c) lehčený polystyren
- d) lehčený polyuretan
- e) lehčený polyvinylchlorid

Pěnové plastické hmoty mají široké možnosti použití. Hodí se zejména pro výplňovou izolační vrstvu sendvičových panelů a k různým druhům izolací. Tak např. je možné vyplňovat dutiny v obvodovém plášti, nebo plášť obkládat deskami nebo jej opatřit nastříkanou vrstvou. Je možno použít např. předpěněné kuličky Umapolaru S jako plnivo betonu ať již cementového nebo plastbetonu. Výborně se využijí pěnovky z plastických hmot k izolaci

Tabulka 45.

Měrná hmota g/cm^3	1,9
Modul pružnosti kg/cm^2	$15-18 \cdot 10^4$
Pevnost v tahu kg/cm^2	1500-2000
Pevnost v tlaku kg/cm^2	2800-3200
Pevnost v ohybu kg/cm^2	1500-2500
Vrbová houževnatost (Izod) $kgcm/cm^2$	65-80
Koeficient tepelné roztažnosti $1/^\circ C$	$7 \cdot 10^{-6}$
Tepelná vodivost $kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C$	0,25
Měrné teplo $kcal/kg \cdot ^\circ C$	0,26
Nasákavost (24 hod.) %	0,1-0,6
Elektrická pevnost kV/mm	6-8
Měrný vnitřní odpor $ohm \cdot cm$	$10^{11}-10^{14}$

14. Lehčené plastické hmoty

Prakticky každou plastickou hmotu je možné připravit jako lehčenou: použití podmiňuje ovšem cena a dostupnost velkého množství, u dostupných hmot rozhodují ještě vlastnosti a způsob výroby.

Podle ČSN 640001 se dělí lehčené plastické hmoty na

- a) měkké a pružné
 - aa) mechovité (s uzavřenými, nespojitými dutinkami)
 - ab) houbovité (s otevřenými, navzájem spojenými dutinkami různých tvarů a velikostí)
- b) tvrdé
 - ba) pěnovité (dutinky různých tvarů, uzavřené, nespojitě)
 - bb) pórovité (dutinky různých tvarů, otevřené, navzájem spojené)
 - bc) plástové (pravidelné dutinky orientované v jednom směru).

Pro stavebnictví mají význam především tvrdé lehčené hmoty, zejména

- a) lehčené fenolické hmoty
- b) lehčené močovinoformaldehydové hmoty
- c) lehčený polystyren
- d) lehčený polyuretan
- e) lehčený polyvinylchlorid

Pěnové plastické hmoty mají široké možnosti použití. Hodí se zejména pro výplňovou isolační vrstvu sendvičových panelů a k různým druhům izolací. Tak např. je možné vyplňovat dutiny v obvodovém plášti, nebo plášť obkládat deskami nebo jej opatřit nastříkanou vrstvou. Je možno použít např. předpěněné kuličky Umapolaru S jako plnivo betonu ať již cementového nebo plastbetonu. Výborně se využijí pěnovky z plastických hmot k isola-

cím střešních pláštů, ke konstrukcím zavěšených isolačních stropů, k izolaci podlah, nádrží, vedení, potrubí atd. Výhodou při aplikaci pěnovek z plastických hmot je vesměs jejich zvýšená odolnost v agresivním prostředí, se kterými se zejména setkáváme v chemickém průmyslu.

14.1. Lehčené fenoplasty

Na přípravu lehčených fenoplastů se používají nejčastěji tekuté formaldehydové pryskyřice. Pěnová struktura se vytvoří vývojem plynů při tvrdnutí pryskyřice. Vytvrzování probíhá při normální nebo zvýšené teplotě po nalití směsi do formy. Obvykle se vyrábí bloky, které se pak řežou na desky potřebné tloušťky. U nás se vyrábí pod názvem Porofen.

Mechanické vlastnosti těchto hmot jsou závislé od stupně napěnění jinými slovy od objemové váhy (viz tab. 46). Je možné je připravit i extrémně lehké, s objemovou vahou 15-20 kg/m³. Hodí se ovšem jen pro výplňový materiál. Dobře použitelné jsou tyto hmoty od 35 až 40 kg/m³ materiály s objemovou vahou od 80 kg/m³ vyhovují výborně.

Vlastnost	Objemová váha kg/m ³				
	40	50	60	80	100
Pevnost v tlaku kg/cm ²	1,8	3,4	4,9	6,2	7,9
Pevnost v tahu kg/cm ²	1,2	2,6	3,3	4,4	5,4
Pevnost v ohybu kg/cm ²	3,0	3,5	4,2	5,5	6,5
Modul pružnosti kg/cm ²	100	120	150	200	210

Póry jsou částečně uzavřené (asi 2/3 vnitřního objemu), částečně otevřené. Protože otevřené póry vznikají v některých místech praskáním již ztvrdlých stěn okolo uzavřených dutinek při nárůstu objemu, jsou obvykle tyto materiály nepropustné. Lehčené fenoplasty se mohou trvale používat do teploty 120°C, krátkodobě až do 200°C, při

emž se mechanické vlastnosti nemění. Mechanické vlastnosti se také příliš nemění při nasycení vodou, chemické odolnost je dána chemickou odolností pryskyřice. Pro kovy jsou lehčené fenoplasty korozivní, zejména jsou-li vytvrzovány kyselinou solnou.

Používají se ve stavebnictví na tepelné a zvukové izolace, které jsou chemicky odolné proti zvýšené teplotě a cenově výhodné. Kombinují se se všemi druhy omítek, nátěrů, obkladů.

14.2. Lehčené močovinoformaldehydové hmoty

Většinou se vyrábí typ s otevřenými póry, u nás podle výrobního postupu označovaného jako Mofoterm (tlakové stříkací zařízení) nebo Vusoterm (beztlakové míšící zařízení).

Při výrobě Mofotermu na tlakovém zařízení se do trubice reaktoru vstříkuje pod tlakem 4-5,5 atm. z jedné strany vodní roztok tužidla s pěnotvornou látkou, napěněný vzduchem, z druhé strany se vstříkuje vodní roztok speciální nízkoviskózní pryskyřice. Při smíšení obou složek dochází během jedné až tří minut k želatinování a v krátkém čase k tvrdnutí; směs lze tedy dopravovat jen na krátkou vzdálenost. Po zatvrdnutí je třeba materiál vysušit. Výkon stříkacího zařízení je asi 4 m³ za hod., objemová váha je 8-12 kg/m³, hodí se zejména pro výplňování různých dutin nebo stříkání na pletivo.

Výroba Vusotermu beztlakým způsobem se uskutečňuje ve speciální míchačce tak, že se při míšení tužidla s pryskyřicí přivádí do míchačky vzduch. Za 15-20 min. dojde k napěnění a zhomogenisování směsi; po 1-3 min. míšení pěny se vypouští již do formy a tvrdne na hmotu s objemovou vahou 10-90 kg/m³. Je možno ji také plnit lehkými nebo vláknitými plnivými. Výkon je až 4 m³ za hod., lze pracovat i při nízkých teplotách (nad 0°C). Délkové smrštění je asi 5% a je třeba s ním počítat. Bloky je dobře rozřezat na desky co nejdříve po zatvrdnutí, jinak může dojít k jejich trhlinkování.

Tyto hmoty mají poměrně nízké mechanické vlastnosti. Nevýhodou je

cím střešních pláštů, ke konstrukcím zavěšených isolačních stropů, k izolaci podlah, nádrží, vedení, potrubí atd. Výhodou při aplikaci pěnovek z plastických hmot je vesměs jejich zvýšená odolnost v agresivním prostředí, se kterými se zejména setkáváme v chemickém průmyslu.

14.1. Lehčené fenoplasty

Na přípravu lehčených fenoplastů se používají nejčastěji tekuté formaldehydové pryskyřice. Pěnová struktura se vytvoří vývojem plynů při tvrdnutí pryskyřice. Vytvrzování probíhá při normální nebo zvýšené teplotě po nalití směsi do formy. Obvykle se vyrábí bloky, které se pak řezou na desky potřebné tloušťky. U nás se vyrábí pod názvem Porofen.

Mechanické vlastnosti těchto hmot jsou závislé od stupně napěnění jinými slovy od objemové váhy (viz tab. 46). Je možné je připravit i extrémně lehké, s objemovou vahou 15-20 kg/m³. Hodí se ovšem jen výplňový materiál. Dobře použitelné jsou tyto hmoty od 35 až 40 kg/m³ materiály s objemovou vahou od 80 kg/m³ vyhovují výborně.

Vlastnost	Objemová váha kg/m ³				
	40	50	60	80	100
Pevnost v tlaku kg/cm ²	1,8	3,4	4,9	6,2	7,9
Pevnost v tahu kg/cm ²	1,2	2,6	3,3	4,4	5,4
Pevnost v ohybu kg/cm ²	3,0	3,5	4,2	5,5	6,5
Modul pružnosti kg/cm ²	100	120	150	200	210

Póry jsou částečně uzavřené (asi 2/3 vnitřního objemu), částečně otevřené. Protože otevřené póry vznikají v některých místech praskáním již ztvrdlých stěn okolo uzavřených dutinek při narůstání objemu, jsou obvykle tyto materiály nepropustné. Lehčené fenoplasty se mohou trvale používat do teploty 120°C, krátkodobě až do 200°C, p

se mechanické vlastnosti nemění. Mechanické vlastnosti se také již nemění při nasycení vodou, chemické odolnost je dána chemickou odolností pryskyřice. Pro kovy jsou lehčené fenoplasty korosivní, zejména jsou-li vytvrzovány kyselinou solnou.

Používají se ve stavebnictví na tepelné a zvukové izolace, které jsou chemicky odolné proti zvýšené teplotě a cenově výhodné. Kombinují se s všemi druhy omítek, nátěrů, obkladů.

14.2. Lehčené močovinoformaldehydové hmoty

Většinou se vyrábí typ s otevřenými póry, u nás podle výrobního postupu označovaného jako Mofoterm (tlakové stříkací zařízení) nebo Vusoterm (beztlakové míšící zařízení).

Při výrobě Mofotermu na tlakovém zařízení se do trubického reaktoru vstříkuje pod tlakem 4-5,5 atm. z jedné strany vodní roztok tužidla s pěnotvornou látkou, napěněný vzduchem, z druhé strany se vstříkuje vodní roztok speciální nízkoviskosní pryskyřice. Při smíšení obou složek dochází během jedné až tří minut k želatinování a v krátkém čase k tvrdnutí; směs lze tedy dopravovat jen na krátkou vzdálenost. Po zatvrdnutí je třeba materiál vysušit. Výkon stříkacího zařízení je asi 1 m³ za hod., objemová váha je 8-12 kg/m³, hodí se zejména pro vyplňování různých dutin nebo stříkání na pletivo.

Výroba Vusotermu beztlakým způsobem se uskutečňuje ve speciální míchačce tak, že se při míšení tužidla s pryskyřicí přivádí do míchačky vzduch. Za 15-20 min. dojde k napěnění a zhomogenisování směsi; po 1-3 min. míšení pěny se vypouští již do formy a tvrdne na hmotu s objemovou vahou 10-90 kg/m³. Je možno ji také plnit lehkými nebo vláknitými plnivými. Výkon je až 4 m³ za hod., lze pracovat i při nízkých teplotách (nad 0°C). Délkové smrštění je asi 5% a je třeba s ním počítat. Bloky je dobře rozřezat na desky co nejdříve po zatvrdnutí, jinak může dojít k jejich trhlinkování.

Tyto hmoty mají poměrně nízké mechanické vlastnosti. Nevýhodou je

cím střešních pláštů, ke konstrukcím zavěšených isolačních stropů, k izolaci podlah, nádrží, vedení, potrubí atd. Výhodou při aplikaci pěnovek z plastických hmot je vesměs jejich zvýšená odolnost v agresivním prostředí, se kterými se zejména setkáváme v chemickém průmyslu.

14.1. Lehčené fenoplasty

Na přípravu lehčených fenoplastů se používají nejčastěji tekuté formaldehydové pryskyřice. Pěnová struktura se vytvoří vývojem plynů při tvrdnutí pryskyřice. Vytvrzování probíhá při normální nebo zvýšené teplotě po nalití směsi do formy. Obvykle se vyrábí bloky, které se pak řezou na desky potřebné tloušťky. U nás se vyrábí pod názvem Porofen.

Mechanické vlastnosti těchto hmot jsou závislé od stupně napětí, jinými slovy od objemové váhy (viz tab. 46). Je možné je připravit i extrémně lehké, s objemovou vahou 15-20 kg/m³. Hodí se ovšem jen pro výplňový materiál. Dobře použitelné jsou tyto hmoty od 35 až 40 kg/m³, materiály s objemovou vahou od 80 kg/m³ vyhovují výborně.

Tabulka 46.

Vlastnost	Objemová váha kg/m ³				
	40	50	60	80	100
Pevnost v tlaku kg/cm ²	1,8	3,4	4,9	6,2	7,9
Pevnost v tahu kg/cm ²	1,2	2,6	3,3	4,4	5,4
Pevnost v ohybu kg/cm ²	3,0	3,5	4,2	5,5	6,5
Modul pružnosti kg/cm ²	100	120	150	200	210

Póry jsou částečně uzavřené (asi 2/3 vnitřního objemu), částečně otevřené. Protože otevřené póry vznikají v některých místech prasknutím již ztvrdlých stěn okolo uzavřených dutinek při nárůstu objemu, jsou obvykle tyto materiály nepropustné. Lehčené fenoplasty se mohou trvale používat do teploty 120°C, krátkodobě až do 200°C, při-

emž se mechanické vlastnosti nemění. Mechanické vlastnosti se také příliš nemění při nasycení vodou, chemické odolnost je dána chemickou odolností pryskyřice. Pro kovy jsou lehčené fenoplasty korozeodolné, zejména jsou-li vytvrzovány kyselinou solnou.

Používají se ve stavebnictví na tepelné a zvukové izolace, které jsou chemicky odolné proti zvýšené teplotě a cenově výhodné. Kombinují se se všemi druhy omítek, nátěrů, obkladů.

14.2. Lehčené močovinoformaldehydové hmoty

Většinou se vyrábí typ s otevřenými póry, u nás podle výrobního postupu označovaného jako Mofoterm (tlakové stříkací zařízení) nebo Vusoterm (beztlakové míšící zařízení).

Při výrobě Mofotermu na tlakovém zařízení se do trubcového reaktoru vstříkuje pod tlakem 4-5,5 atm. z jedné strany vodní roztok tužidla s pěnotvornou látkou, napěněný vzduchem, z druhé strany se vstříkuje vodní roztok speciální nízkoviskózní pryskyřice. Při smíšení obou složek dochází během jedné až tří minut k želatinování a v krátkém čase k tvrdnutí; směs lze tedy dopravovat jen na krátkou vzdálenost. Po zatvrdnutí je třeba materiál vysušit. Výkon stříkacího zařízení je asi 4 m³ za hod., objemová váha je 8-12 kg/m³, hodí se zejména pro výplňování různých dutin nebo stříkání na pletivo.

Výroba Vusotermu beztlakým způsobem se uskutečňuje ve speciální míchačce tak, že se při míšení tužidla s pryskyřicí přivádí do míchačky vzduch. Za 15-20 min. dojde k napěnění a zhomogenisování směsi; po 1-3 min. míšení pěny se vypouští již do formy a tvrdne na hmotu s objemovou vahou 10-90 kg/m³. Je možno ji také plnit lehkými nebo vláknitými plnivými. Výkon je až 4 m³ za hod., lze pracovat i při nízkých teplotách (nad 0°C). Délkové smrštění je asi 5% a je třeba s ním počítat. Bloky je dobře rozřezat na desky co nejdříve po zatvrdnutí, jinak může dojít k jejich trhlinkování.

Tyto hmoty mají poměrně nízké mechanické vlastnosti. Nevýhodou je

velká nasákavost při styku s vodou. Mají ale výbornou tepelně isolační schopnost, což nejlépe vynikne ve srovnání s cihelným zdivem (tab. 47). Max. teplota pro trvalé použití je 70°C.

Tabulka 47.

Tloušťka vrstvy močovinoformaldehydové lehčené hmoty cm	2	3	4	5	6	7	8	10
Odpovídající tloušťka cihelného zdiva cm	34	51	68	85	102	119	136	170

Některé mechanické vlastnosti pěněných močovinoformaldehydových hmot obsahuje další tabulka 48.

Tabulka 48.

Vlastnost	Mofoterm	Vusoterm	Diaterm ⁺			
Objemová váha t/m ³	8-12	16-20	31-35	50-53	75-78	99-102
Pevnost v tlaku kg/cm ²	zanedbatelná	0,5-1	0,8-1,6	2-2,3	1,2-1,8	5,2-6,4
Pevnost v ohybu kg/cm ²	zanedbatelná	0,6-1,2	0,8-2	1-2,2	0,8-2	2,4-2,9
Lineární smrštění % sušení při 20°C	5-7,5	4	3	3	-	-
sušení při 60°C	11-13	7	7	7	6	6
Tepelná vodivost kcal/m.h.°C						
při 20°C	0,025	0,029	0,03	0,031	-	-
při 50°C	0,028	0,034	0,035	0,037	-	-

⁺) Stejný výrobní postup jako pro Vusoterm, ale pro výrobu se používá předem připravená pěna.

14.3. Lehčený polystyren

Lehčený polystyren je nejrozšířenější lehčenou plastickou hmotou. Vyrábí se napěněním za tepla z předpěněných kuliček ve formách. Má jemné uzavřené dutinky (až 98% celkového objemu pórů), v ČSSR se vyrábí pod značkou Umapor a Plastipor. Je možno jej použít pro aplikaci až do teploty 70°C, krátkodobě až na 80-90°C. Tepelná vodivost je

velmi nízká, ale s rostoucí teplotou se zvětšuje. Dobře odolává vodě, odpor k difuzi vodních par je 60-120 krát větší než odpor vzduchu. Některé vlastnosti lehčeného polystyrenu jsou v tabulce 49.

Tabulka 49.

Vlastnost	Plastipor	Umapor S a SN				
Objemová váha kg/m ³	37	20-25	50	100	200	300
Pevnost v tlaku kg/cm ²	1,2	1-1,2	2	5	8	10
Pevnost v tahu kg/cm ²	2,0	0-2,1	-	-	-	-
Pevnost v ohybu kg/cm ²	5,0	2	5	10	15	17
Tepelná vodivost při 20°C kcal/m.h.°C	0,037	0,029	0,03	0,03	-	-

Lehčený polystyren se používá jako výplňová isolační hmota, většinou se lepí asfaltem za tepla nebo dispersemi plastických hmot, nemůže se používat k lepení rozpouštědlových lepidel, které polystyren vesměs rozpouštějí.

14.4. Lehčené polyuretany

V poslední době se začínají používat ve stavebnictví i lehčené polyuretany, a to buď tuhé, polotuhé nebo měkké, v širokém rozmezí objemových vah od 24 kg/m³ do 480 kg/m³. Vyrábí se buď odléváním pěny do forem nebo stříkáním pěny ve vrstvách. Dutiny jsou u tuhých pěn většinou uzavřené (93-95%), u polotuhých mají otevřenou, spojitou pórovitost. U stříkaných polyuretanových pěn je pevnost v tlaku asi 3,5 kg/cm², snižuje se s teplotou až k nule při 150°C. Mechanické vlastnosti litých polyuretanových pěn jsou uvedeny v tab. 50. Vyznačují se nízkou hodnotou trvalého přetvoření při vnějším namáhání. Velmi dobře odolávají vodě, nasákavost tuhých pěn je minimální, polotuhé pěny mají nasákavost 34-37% obj., měkké typy nasávají vodu do 90% obj. Odolávají zvýšené teplotě do 120°C, mrazu až do -100°C.

Tepelná vodivost je 0,029 - 0,03 kcal/m.h.°C, jsou citlivé na ultrafialové záření.

Tabulka 50.

Vlastnost	Objemová váha kg/m ³			
	24	32	48	64
Pevnost v tahu kg/cm ²	1,7-1,8	1,75-2,1	1,8-2,5	2,1-2,8
Mezní protažení %	250-300	250-300	300-400	300-400
Trvalé přetvoření (tahem) %	25	6-13	4-13	3-10
Trvalé přetvoření při 70°C (tlakem) %	10-15	2-10	2-6	2-6

14.5. Lehčený polyvinylchlorid

Jeden z nejstarších termoplastů podařilo se připravit v lehčené formě terpve nedávno (před 12-15 léty). Pro stavebnictví má význam především tvrdý PVC s uzavřenými dutinkami. Vyrábí se továrensky v deskách, tlakovým nebo beztlakovým způsobem; u nás se vyrábí 2 typy (Fatra) s objemovou vahou 100 kg/m³, 70 kg/m³ a 60 kg/m³. Dutinky jsou obvykle vyplněny inertním plnivem. Vlastnosti československých lehčených PVC jsou v další tabulce 51.

Tabulka 51.

Vlastnost	Objemová váha kg/m ³		
	60	70	100
Pevnost v tlaku kg/cm ²	3	9	13
Pevnost v tahu kg/cm ²	9	12	18
Trvalá tepelná odolnost °C	40	50	60
Tepelná vodivost kcal/m.h.°C	0,03-0,035	0,03	0,03

Tepelná vodivost je stálá v poměrně širokém rozsahu teplot od -50°C až k mezi trvalé odolnosti. Má velmi dobrou odolnost k vodě, odpor k difuzi vodních par je 300krát větší než vzduchu, nepatrná

nasákavost. Povětrnostním vlivům odolává špatně, naproti tomu odolává vibracím a dynamickému namáhání.

Desky se spojují navzájem i s podkladem lepidly, nejlépe polyesterovými nebo epoxydovými nebo lepidly na Novodur. Desky se mohou formovat při zvýšené teplotě mírným tlakem. Cena PVC pěnovky je poměrně vysoká.

Tepelná vodivost je 0,029 - 0,03 kcal/m.h.°C, jsou citlivé na ultrafialové záření.

Tabulka 50.

Vlastnost	Objemová váha kg/m ³			
	24	32	48	64
Pevnost v tahu kg/cm ²	1,7-1,8	1,75-2,1	1,8-2,5	2,1-2,8
Mezní protažení %	250-300	250-300	300-400	300-400
Trvalé přetvoření (tahem) %	25	6-13	4-13	3-10
Trvalé přetvoření při 70°C (tlakem) %	10-15	2-10	2-6	2-6

14.5. Lehčený polyvinylchlorid

Jeden z nejstarších termoplastů podařilo se připravit v lehčené formě terpve nedávno (před 12-15 léty). Pro stavebnictví má význam především tvrdý PVC s uzavřenými dutinkami. Vyrábí se továrensky v deskách, tlakovým nebo beztlakovým způsobem; u nás se vyrábí 2 typy (Fatra) s objemovou vahou 100 kg/m³, 70 kg/m³ a 60 kg/m³. Dutinky jsou obvykle vyplněny inertním plnivem. Vlastnosti československých lehčených PVC jsou v další tabulce 51.

Tabulka 51.

Vlastnost	Objemová váha kg/m ³		
	60	70	100
Pevnost v tlaku kg/cm ²	3	9	13
Pevnost v tahu kg/cm ²	9	12	18
Trvalá tepelná odolnost °C	40	50	60
Tepelná vodivost kcal/m.h.°C	0,03-0,035	0,03	0,03

Tepelná vodivost je stálá v poměrně širokém rozsahu teplot od -50°C až k mezi trvalé odolnosti. Má velmi dobrou odolnost k vodě, odpor k difuzi vodních par je 300krát větší než vzduchu, nepatrná

nasákavost. Povětrnostním vlivům odolává špatně, naproti tomu odolává vibracím a dynamickému namáhání.

Desky se spojují navzájem i s podkladem lepidly, nejlépe polyestery nebo epoxydovými nebo lepidly na Novodur. Desky se mohou formovat při zvýšené teplotě mírným tlakem. Cena PVC pěnovky je poměrně vysoká.

INSTITUT PRO VÝCHOVU VEDOUČÍCH PRACOVNÍKŮ CHEMICKÉHO PRŮMYSLU

UČEBNÍ TEXTY

RADA:



NOVÉ STAVEBNÍ MATERIÁLY A JEJICH APLIKACE V CHEMICKÉM PRŮMYSLU

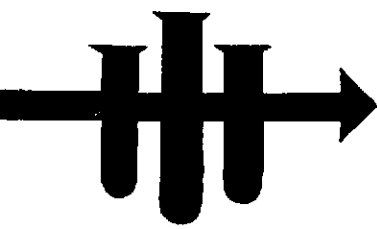
Obrázková část

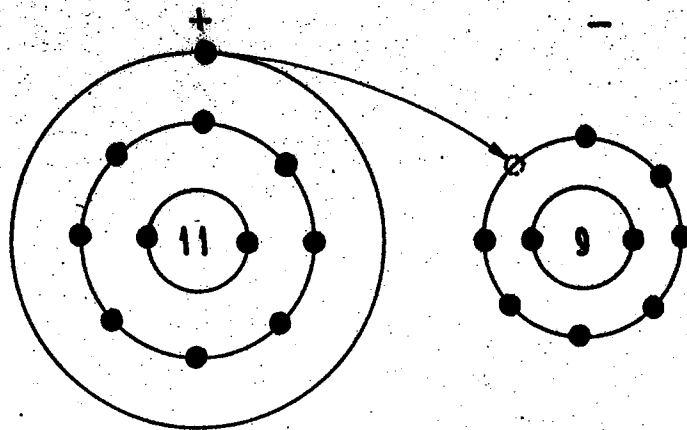
Ing. RICHARD BAREŠ CSc.

ÚTAM - ČSAV - Praha

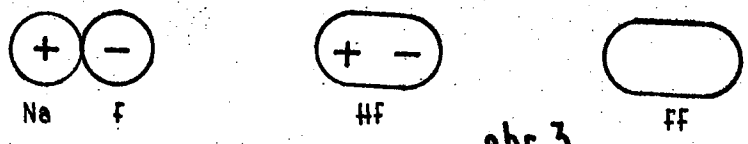
Katedra výchovy specialistů

PRAHA - ŘÍJEN 1967

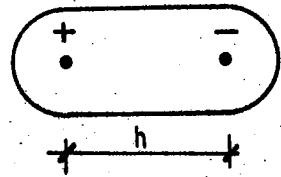




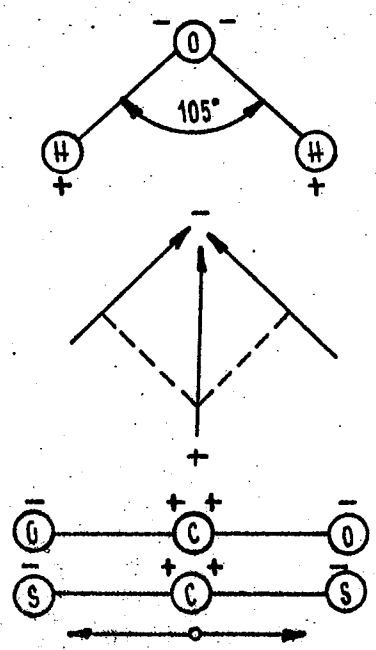
obr. 1



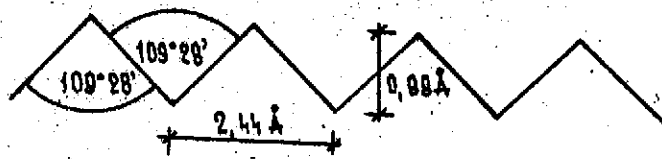
obr. 3



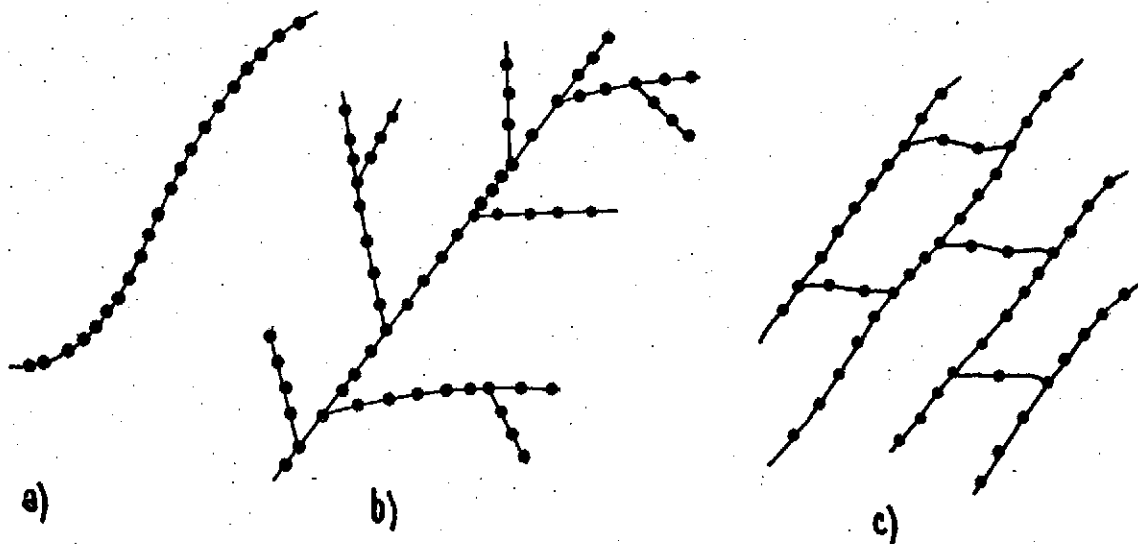
obr. 4



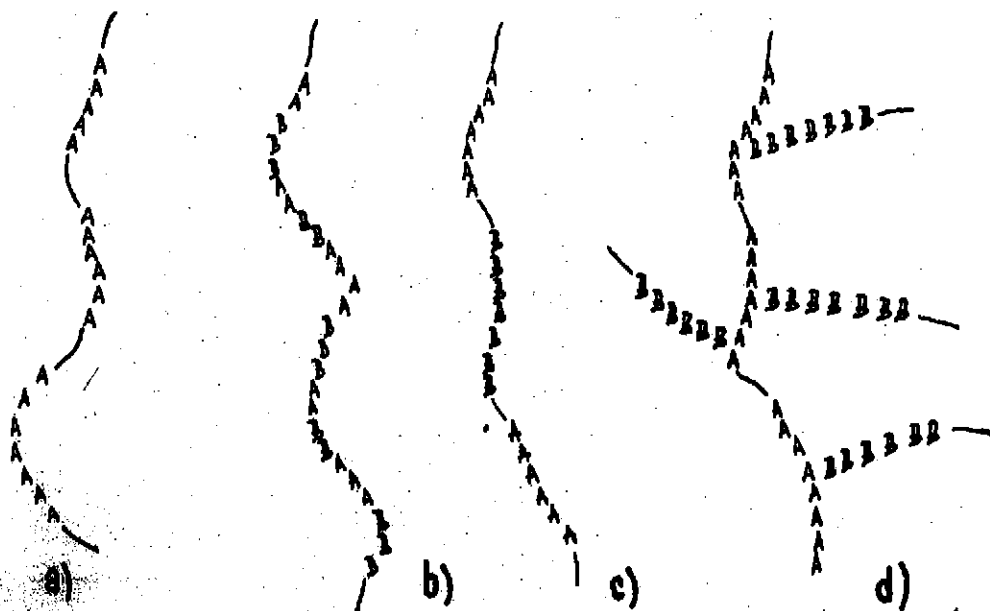
obr. 5



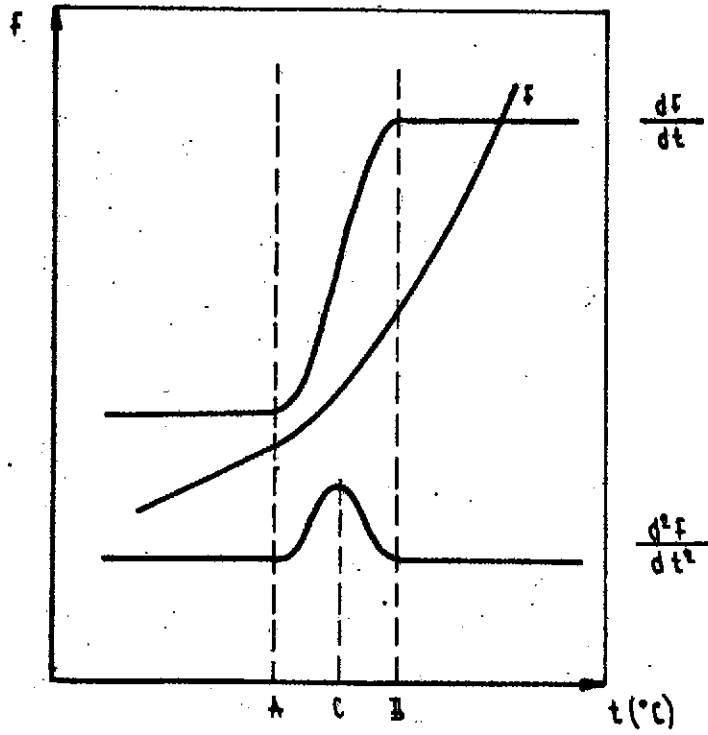
obr. 6



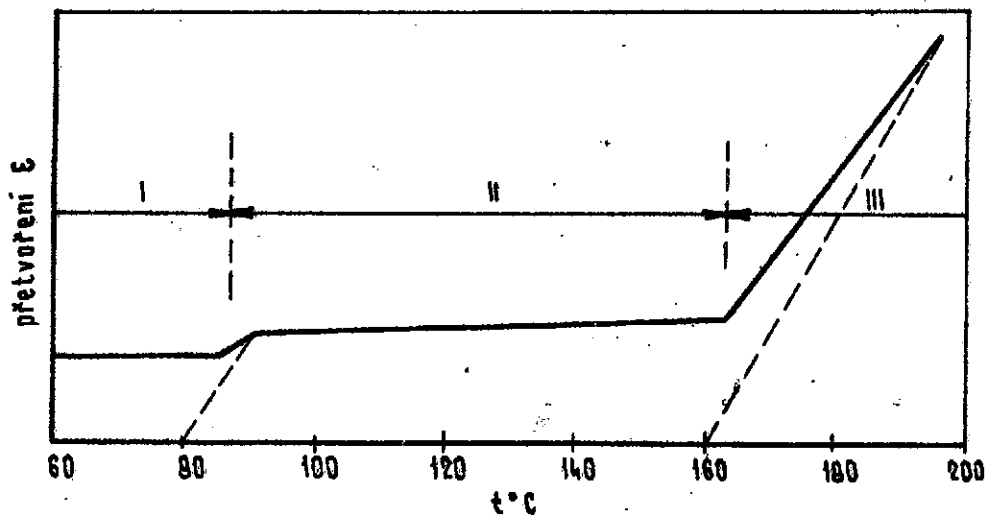
obr. 7



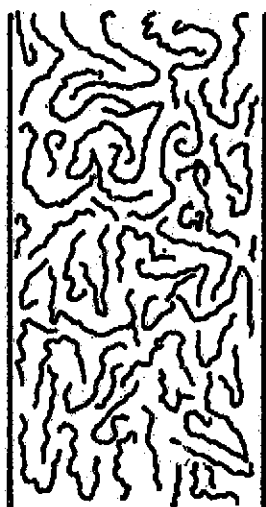
obr. 8



obr. 9



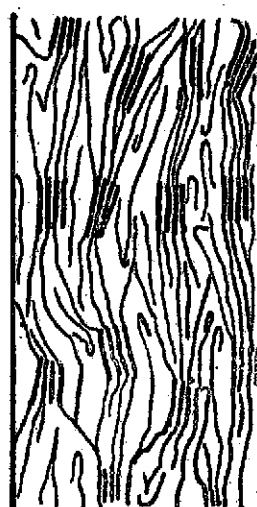
obr. 10



a)

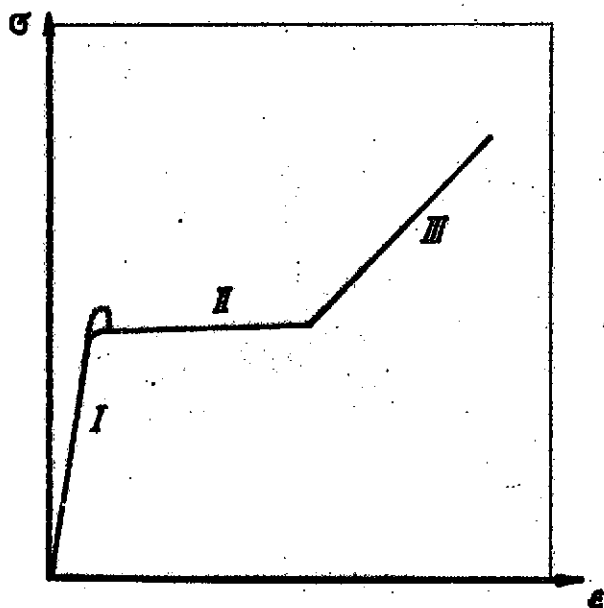


b)

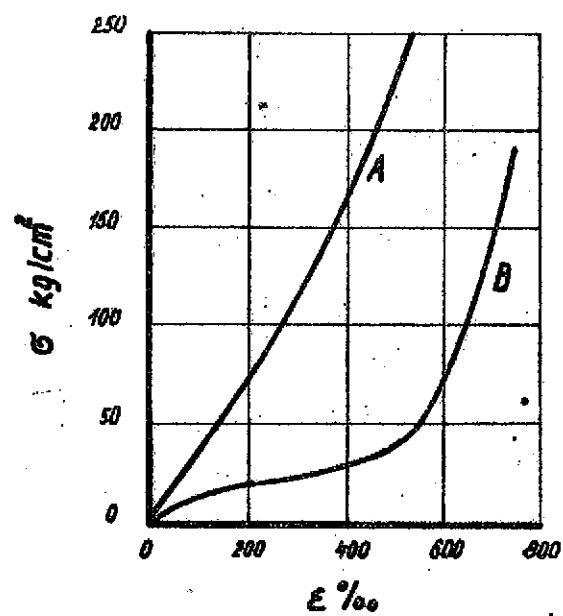


c)

obr. 11



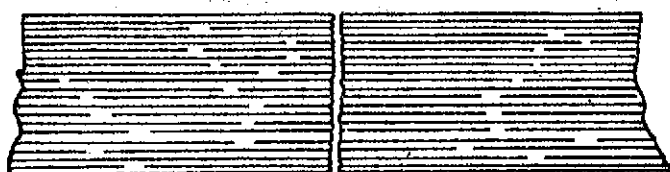
obr. 12



obr. 13

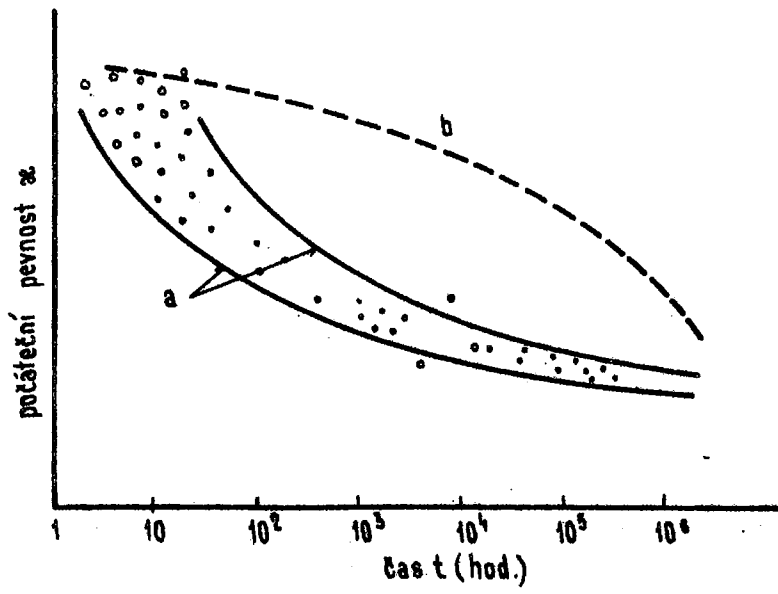


a)

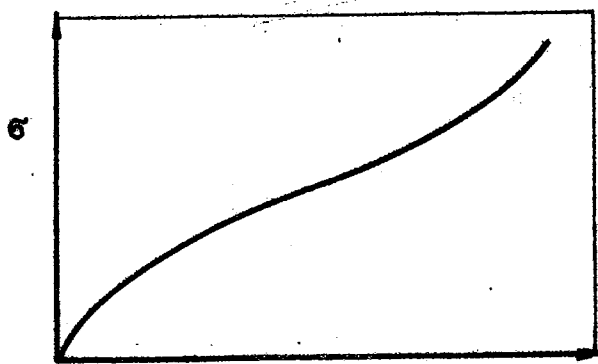


b)

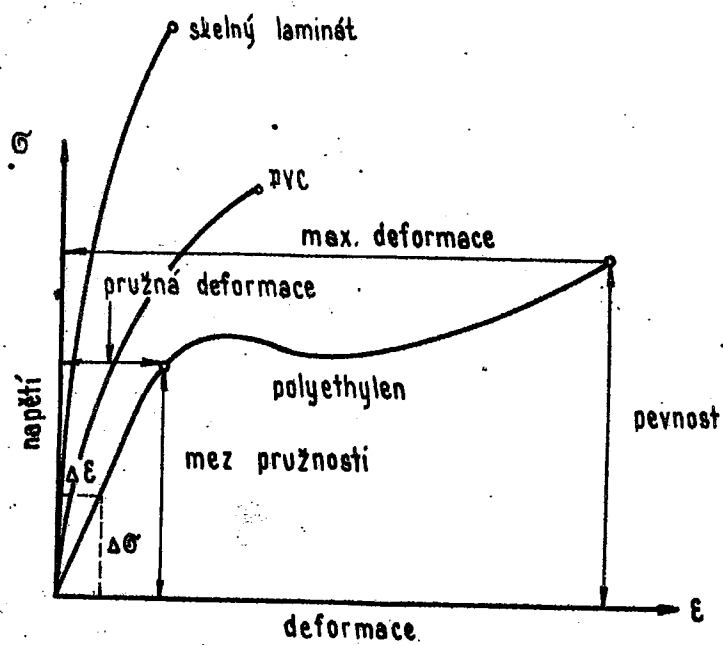
obr. 14



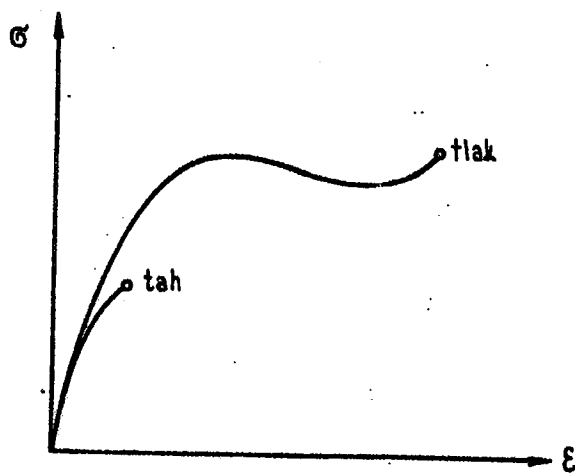
obr. 15



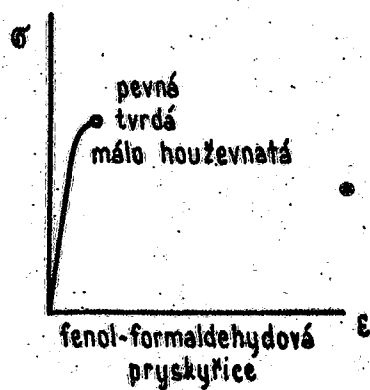
obr. 16



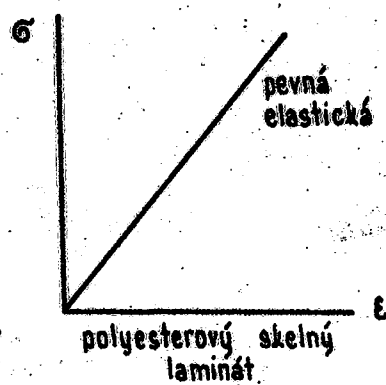
obr. 17



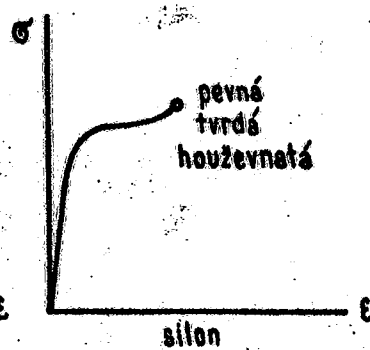
obr. 18



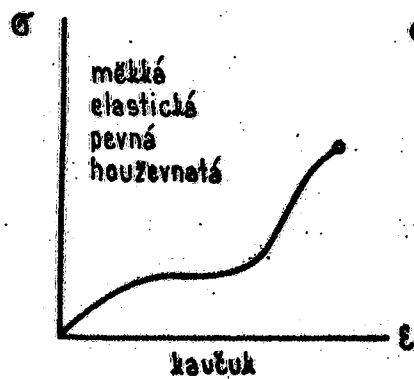
a)



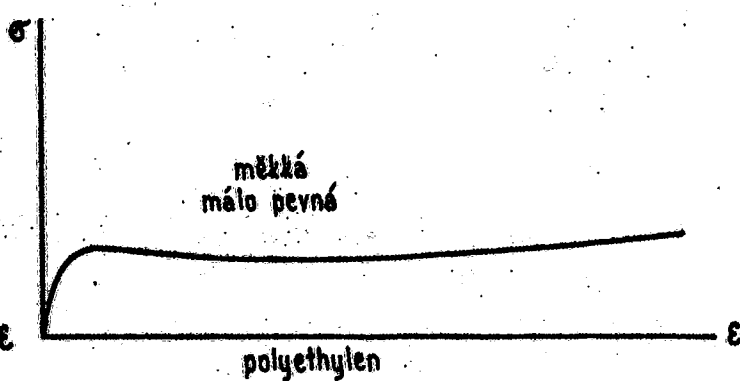
b)



c)

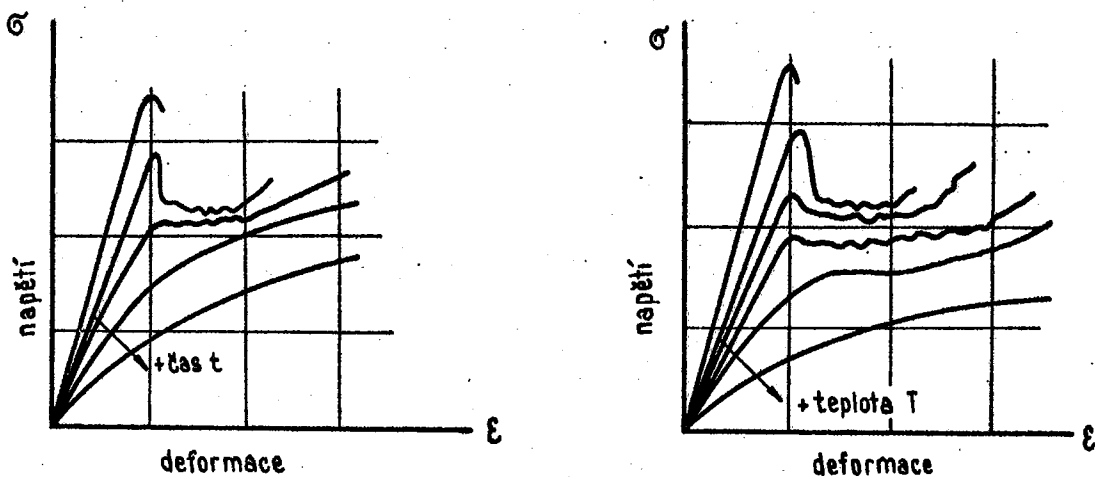


d)

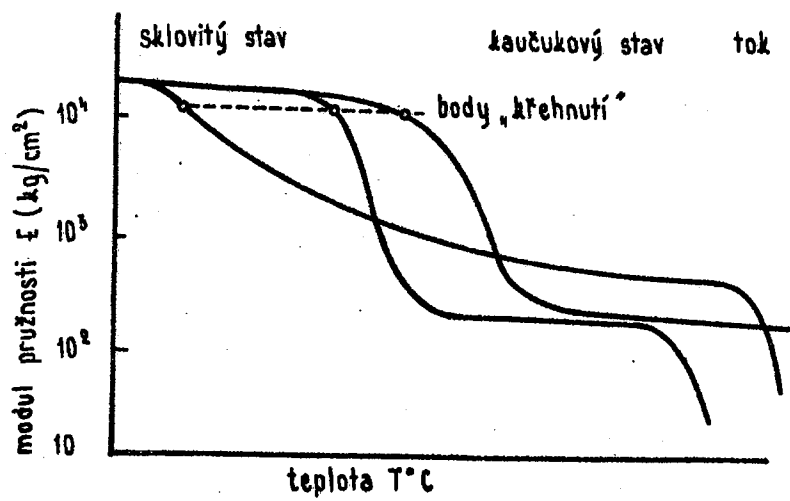


e)

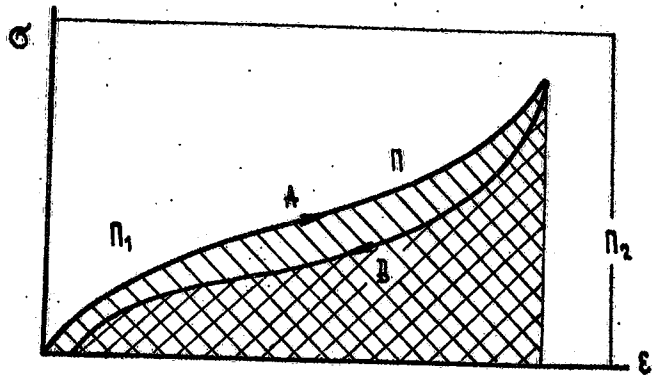
obr. 19



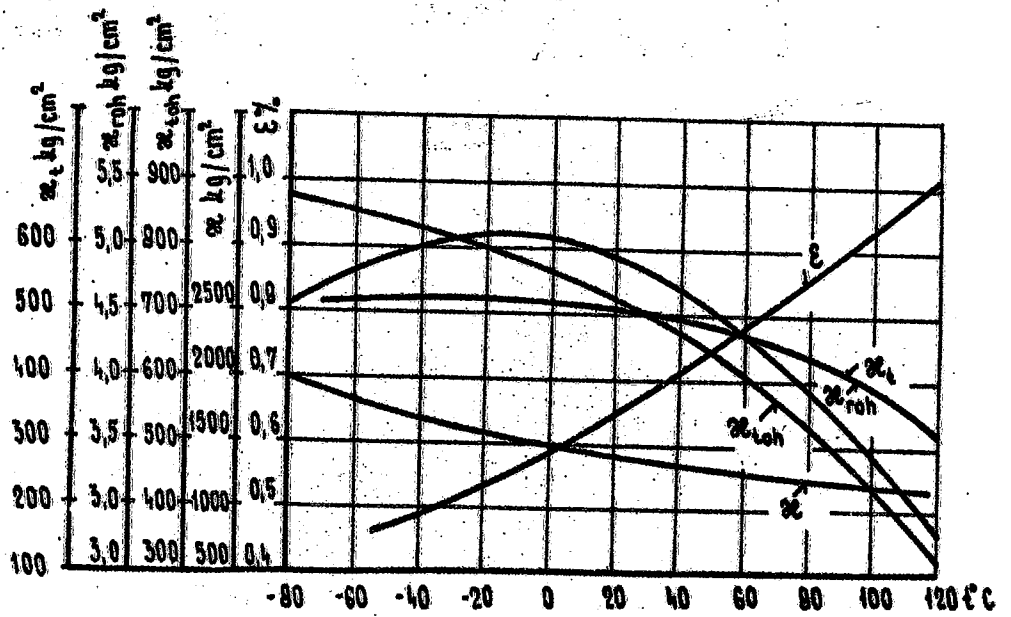
obr. 20



obr. 21

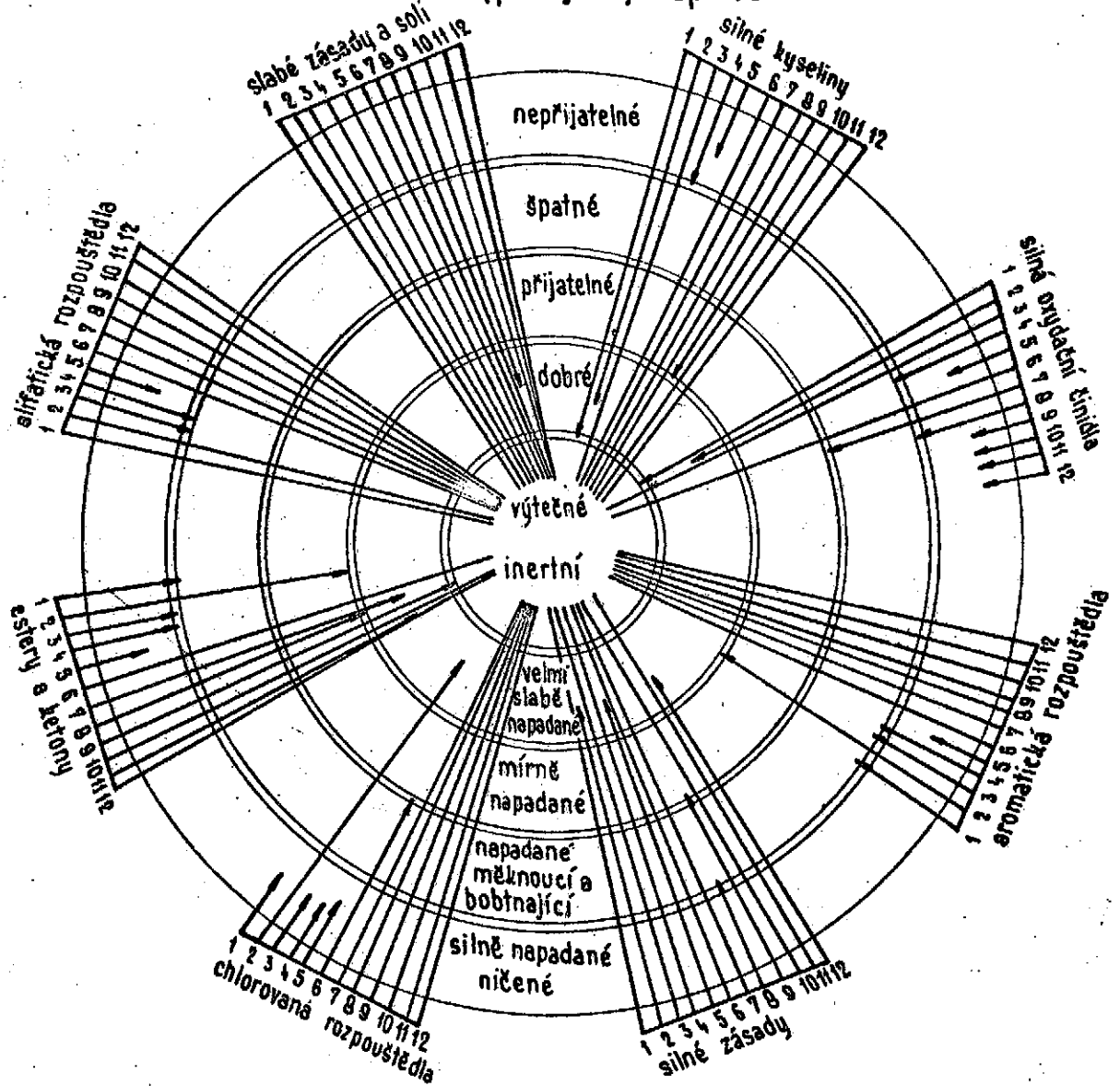


obr. 22



obr. 23

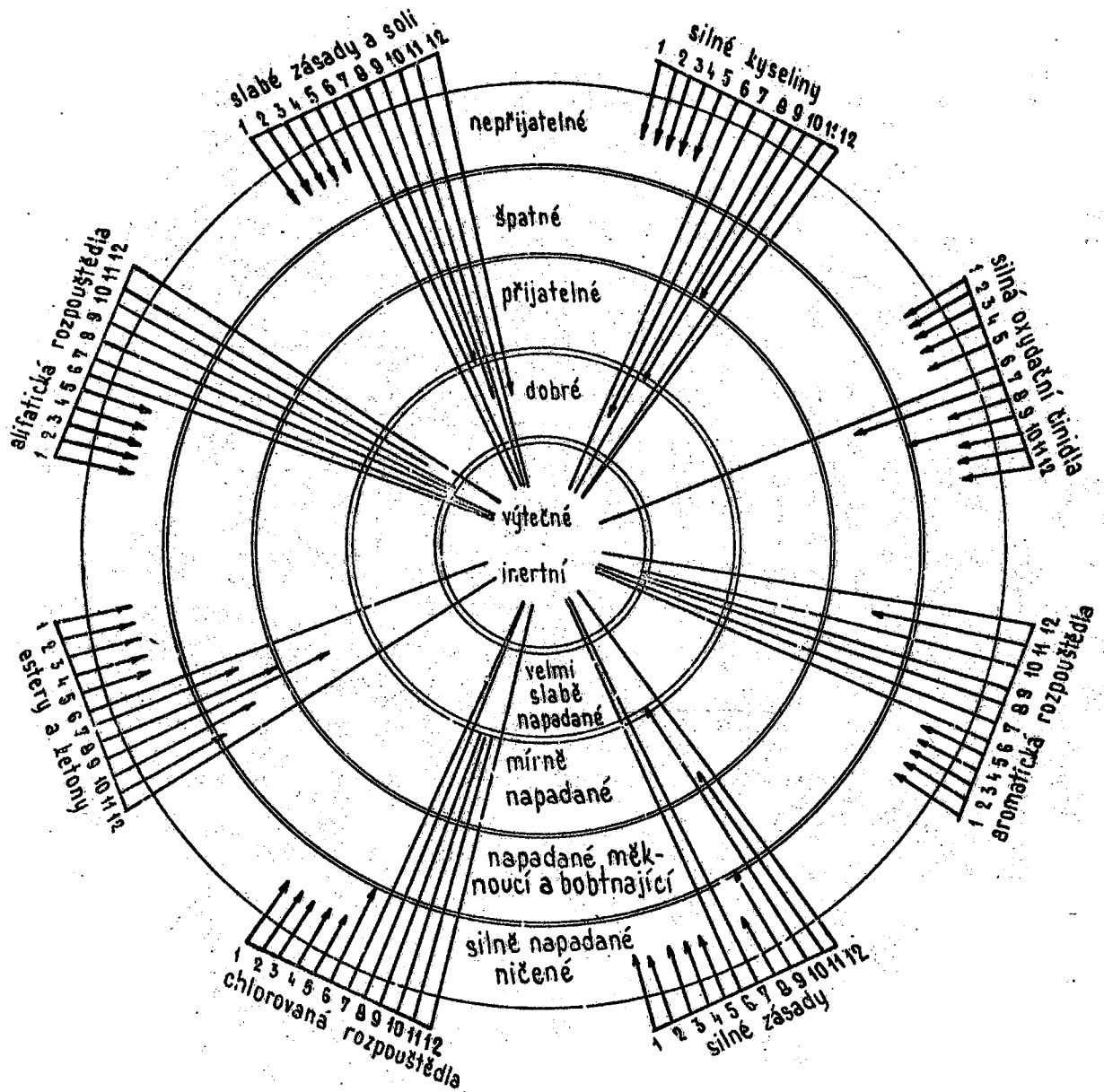
Normální (pokojo)á teplota



Termoplasty :

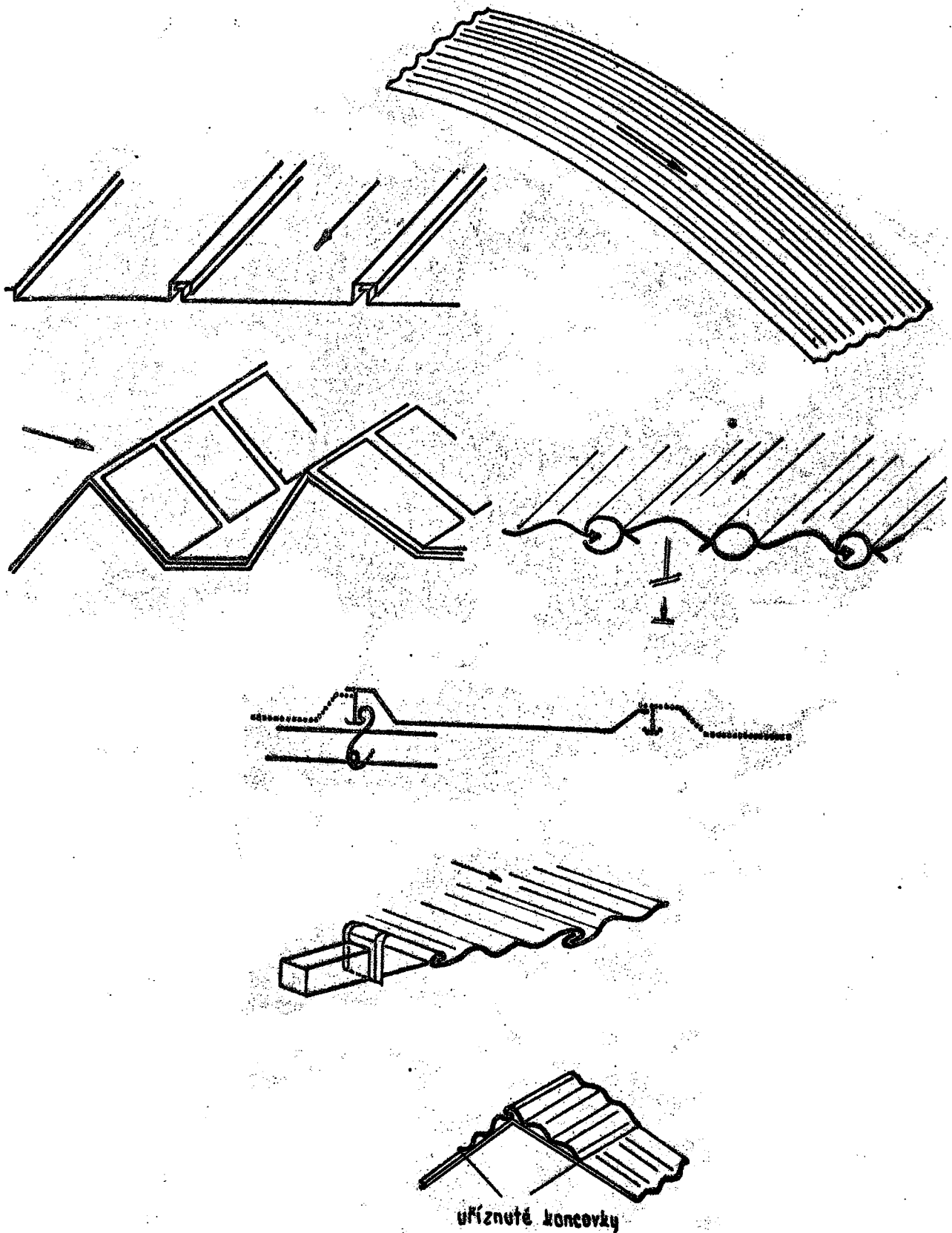
1. Polyvinylchlorid neměkčený
2. Polyvinylidenchlorid (SAZAN)
3. Polyethylen
4. Polystyren
5. Polymethylmetakrylát
6. Polychlorotrifluoroethylen (Kel-F)
7. Polyvinylfluorid (LYNAR, TEFTON)

Zvýšená teplota 95 °C

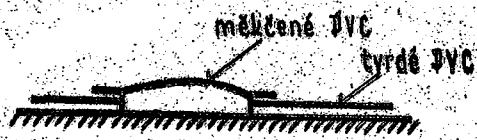


Termosety:

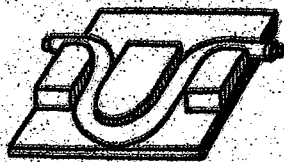
8. Fenolické pryskyřice (plněné asbestem)
9. Polyesterové pryskyřice (se skelnou výztuží)
10. Epoxidové pryskyřice (se skelnou výztuží, s aminovými tužidly)
11. Chlorované polyethery (DENTON)
12. Furanové pryskyřice (plněné asbestem)



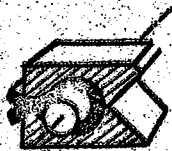
obr. 27



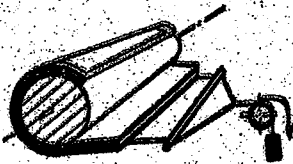
obr. 26



obr. 28

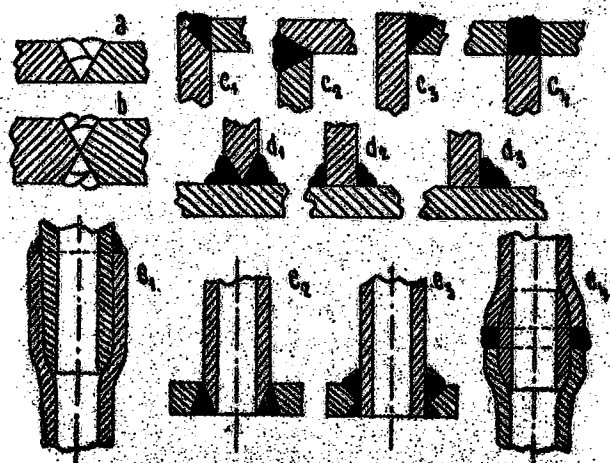


a)

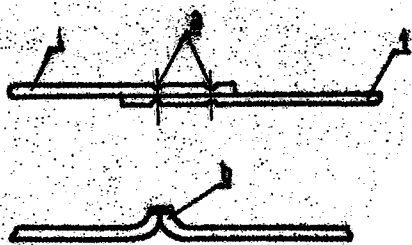


b)

obr. 29

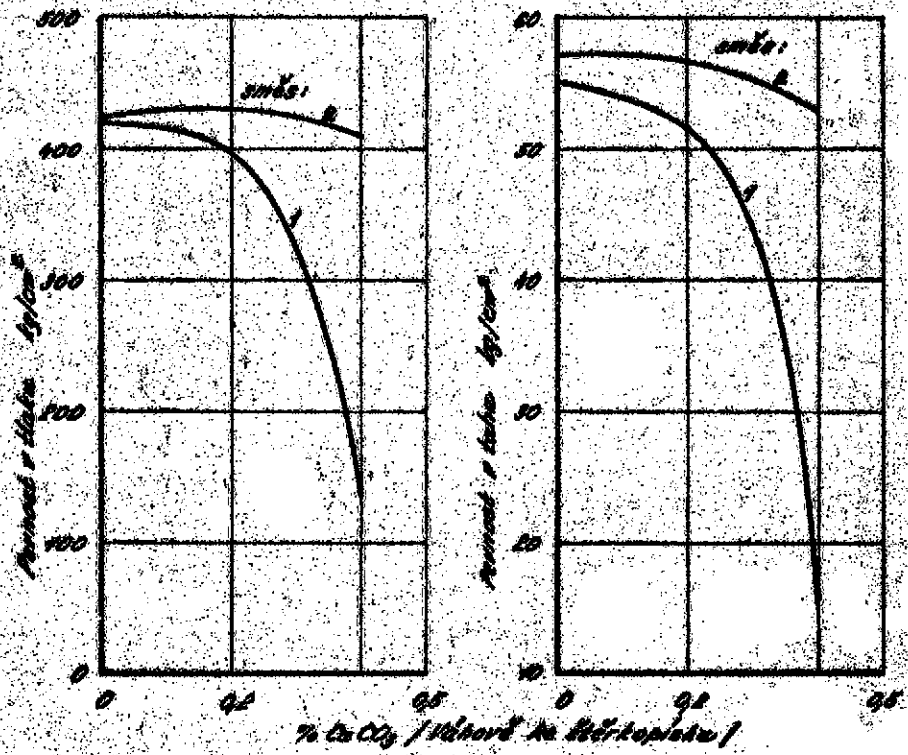


obr. 30



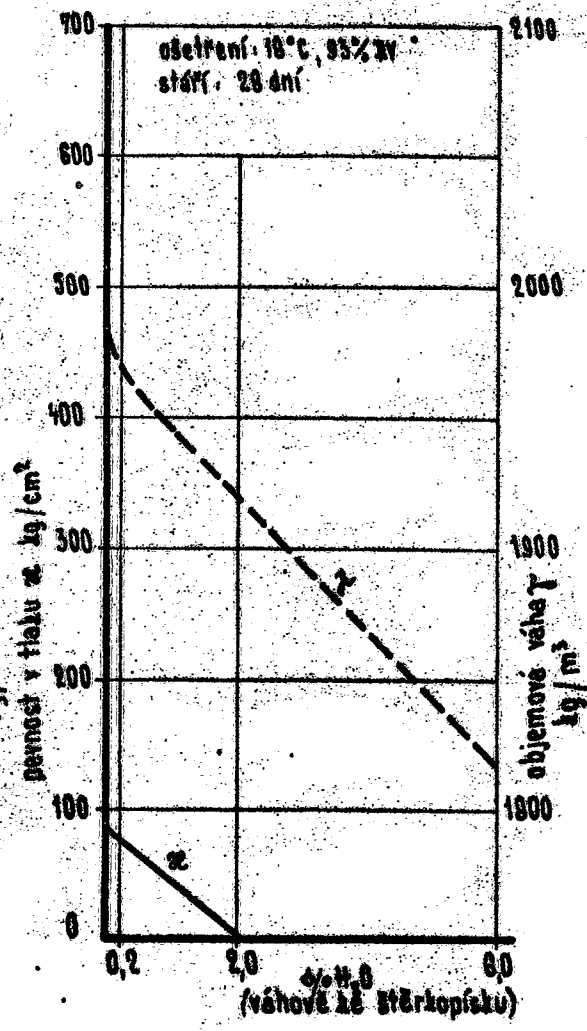
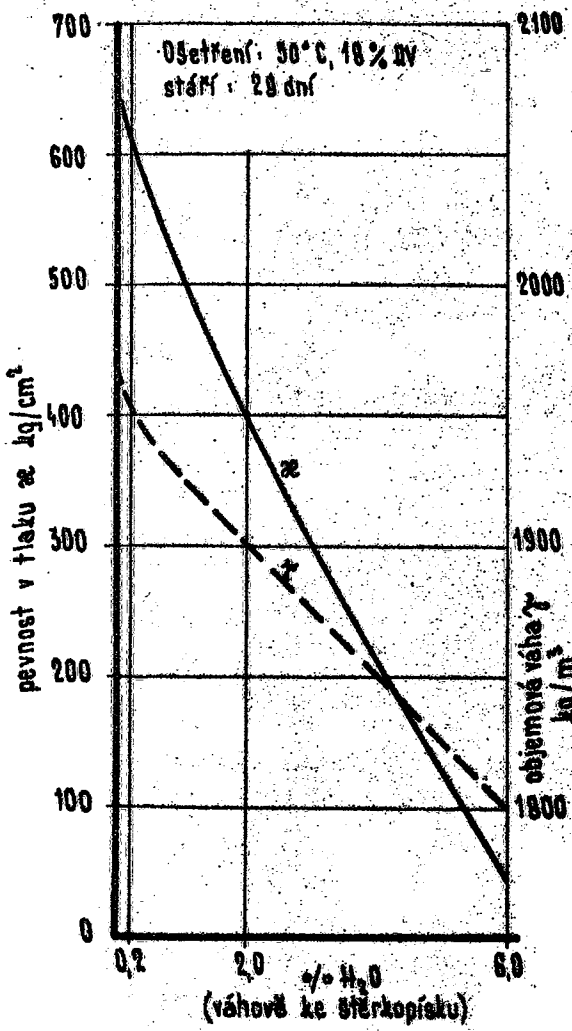
obr. 31

teplota: 10°C
 35% RH
 stáří: 14 dnů



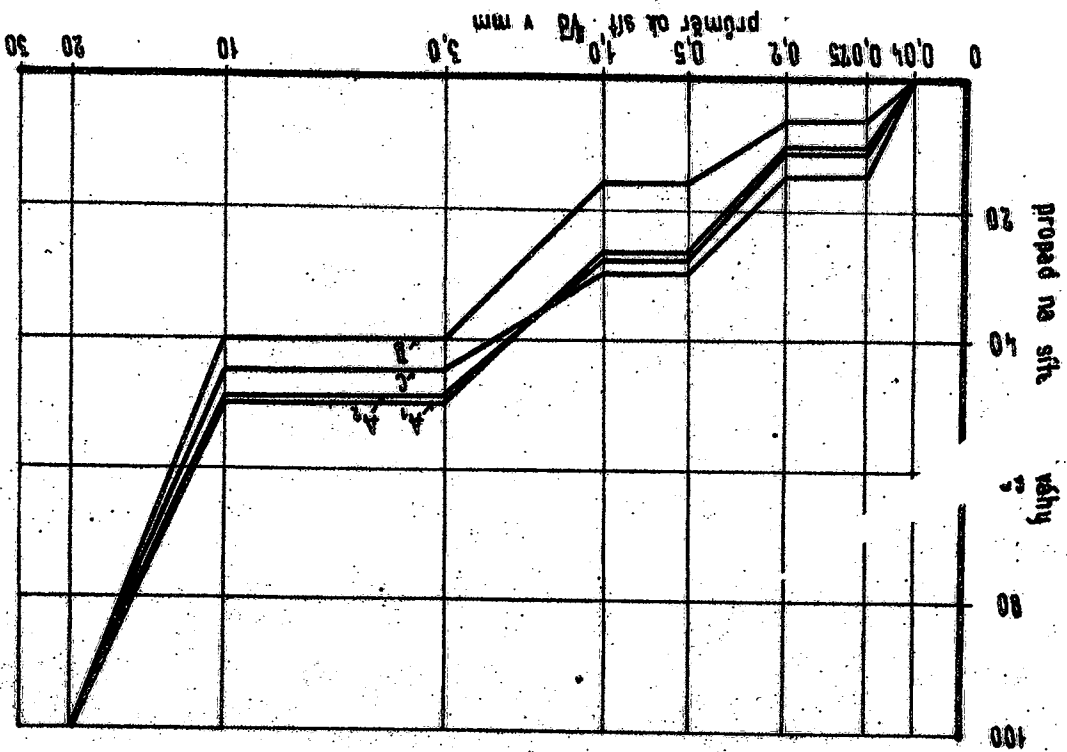
Váhově složené anodi	1	2
parolová pryskyřica	5	5
parfarylatonol	8	8
parfarylatolalid	2	2
desičnan molibdeny 15%	1	0
termový plát 1 a 1		
míšecí v pasta 1:0	00	00

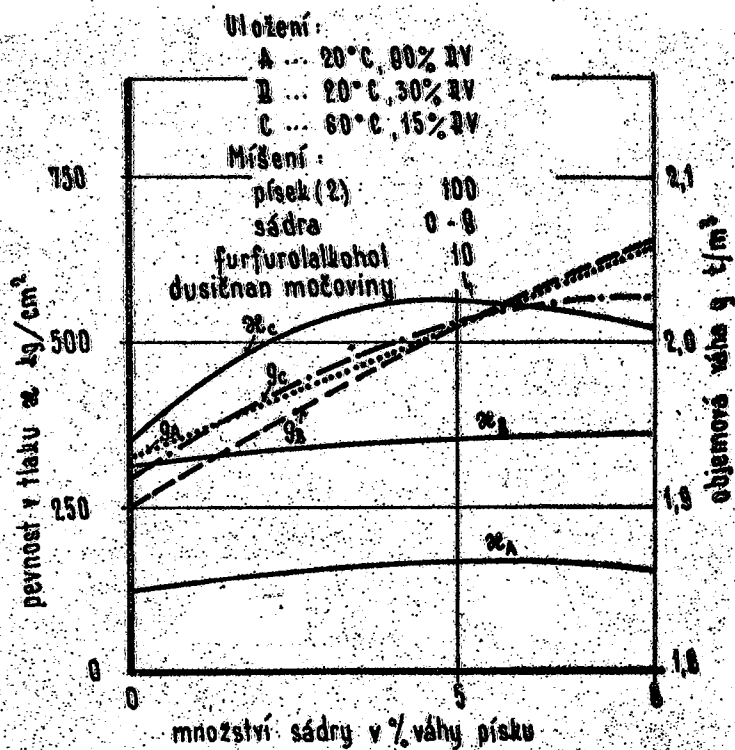
obr. 32



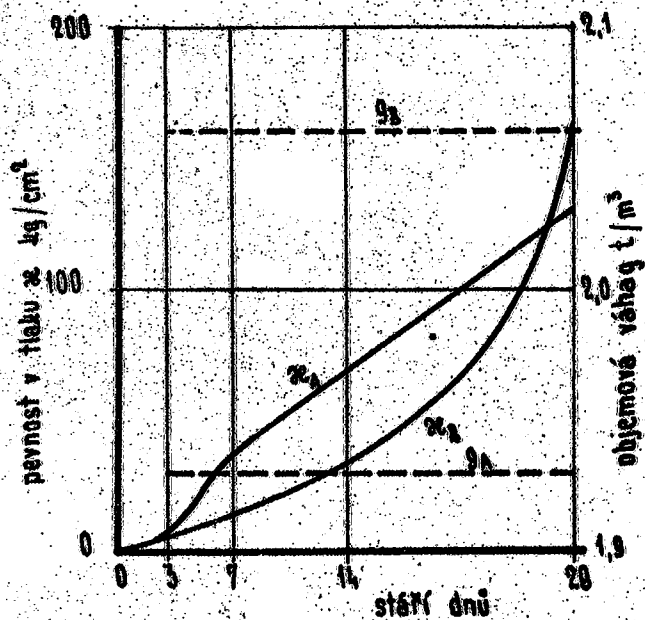
obr. 33

obr. 34

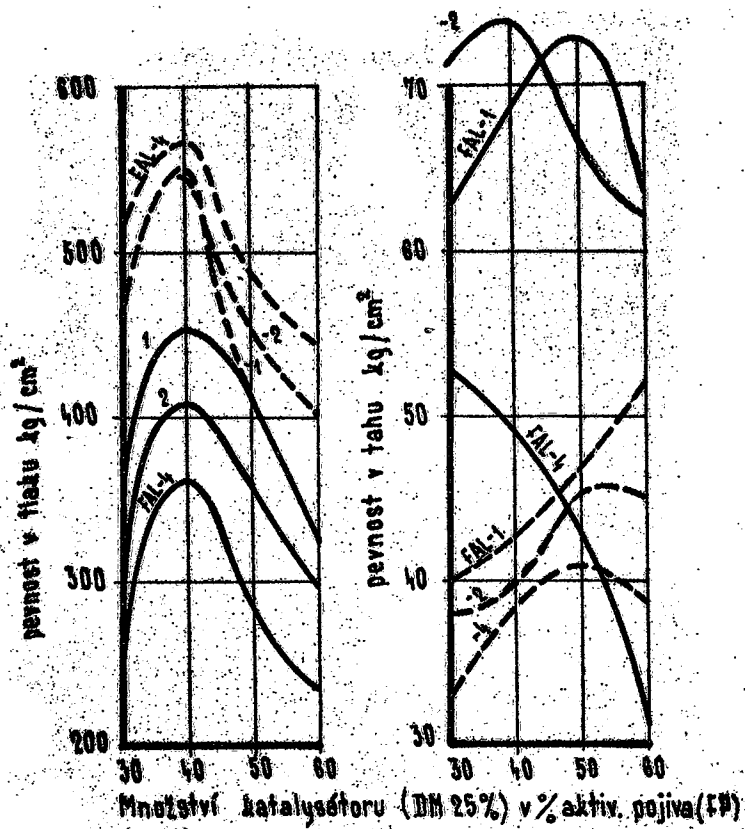




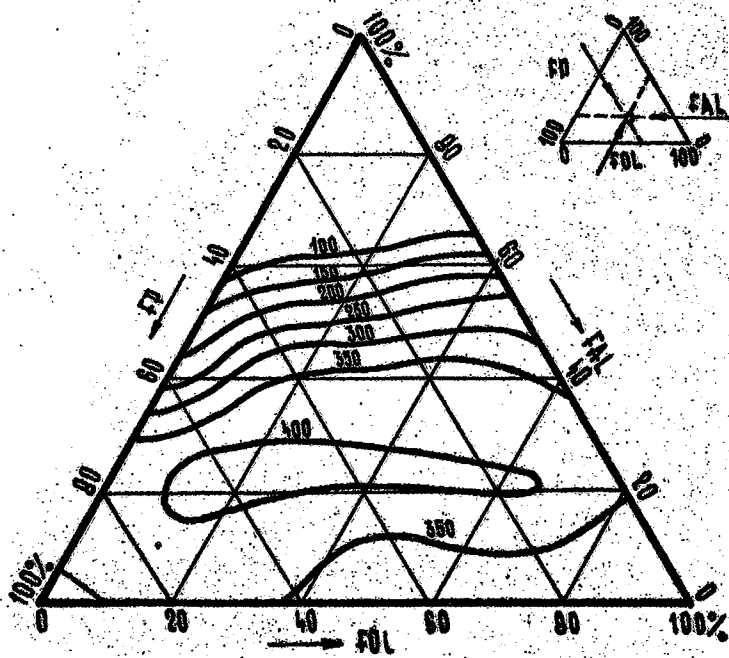
obr. 35



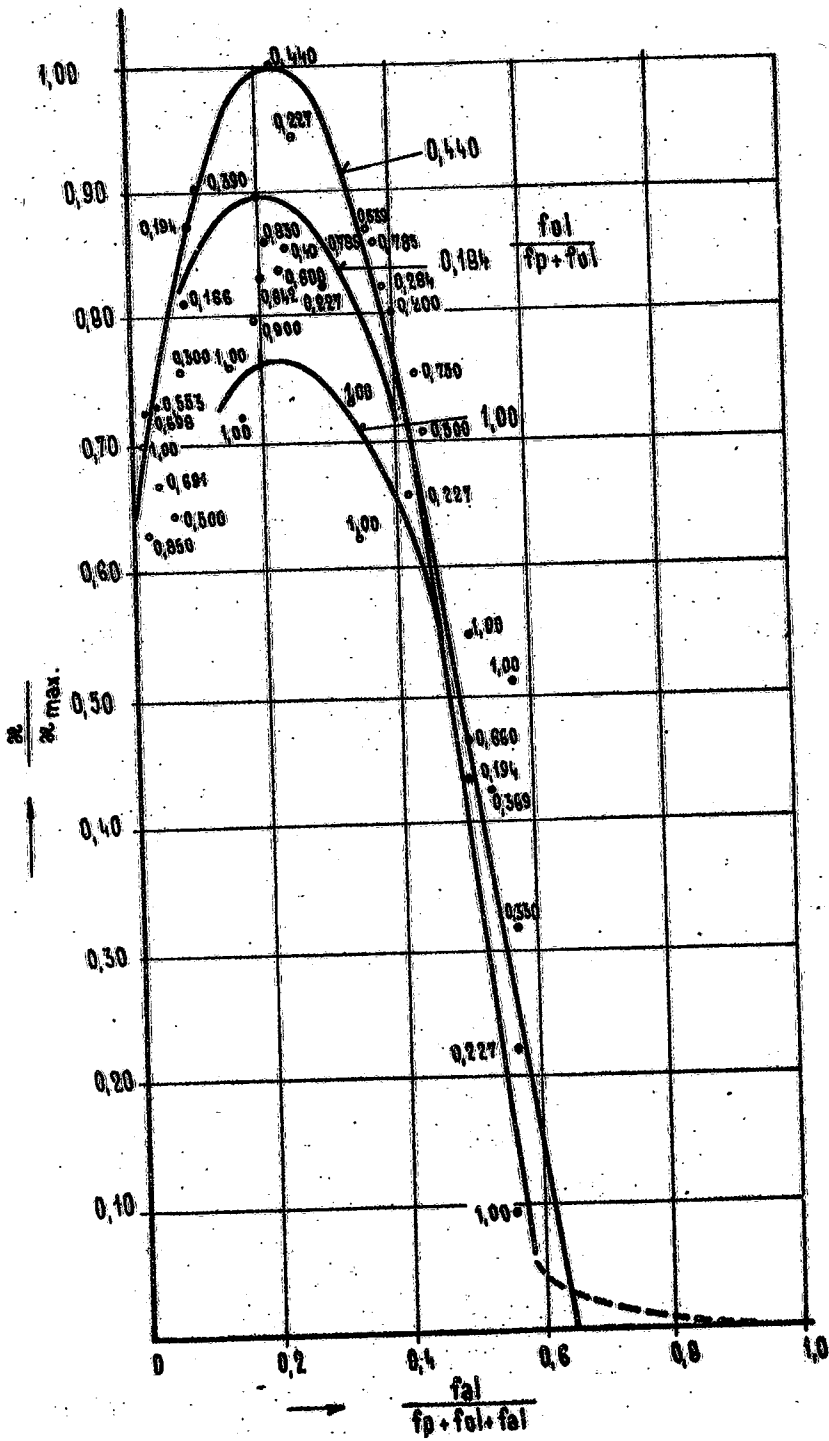
obr. 36



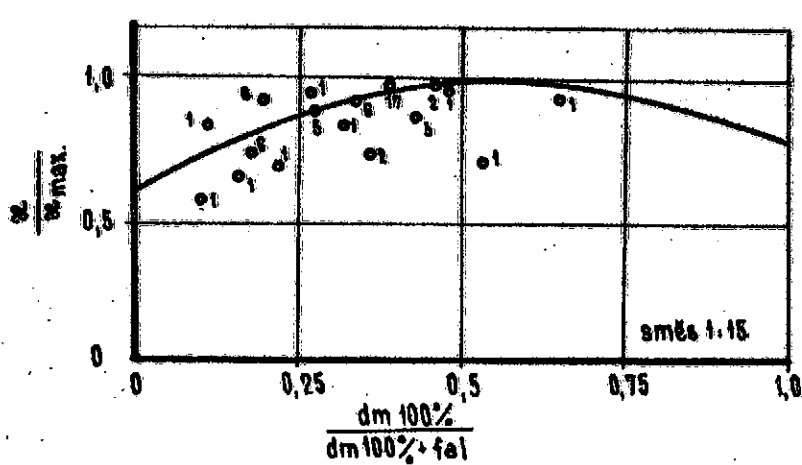
obr. 37



obr. 38

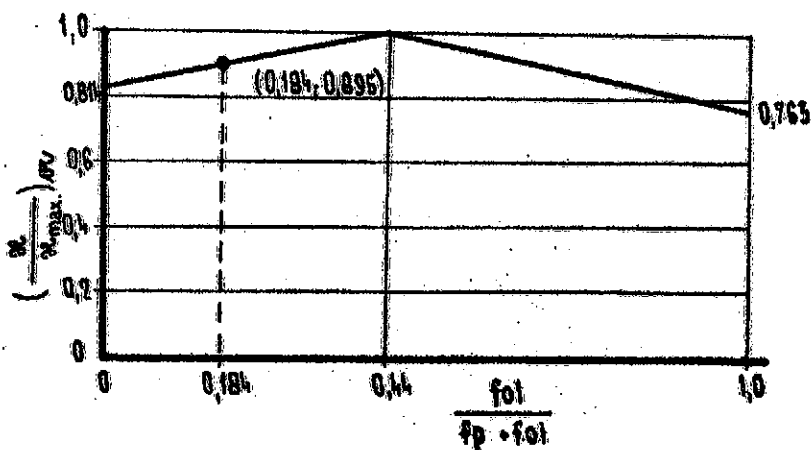


obr. 39

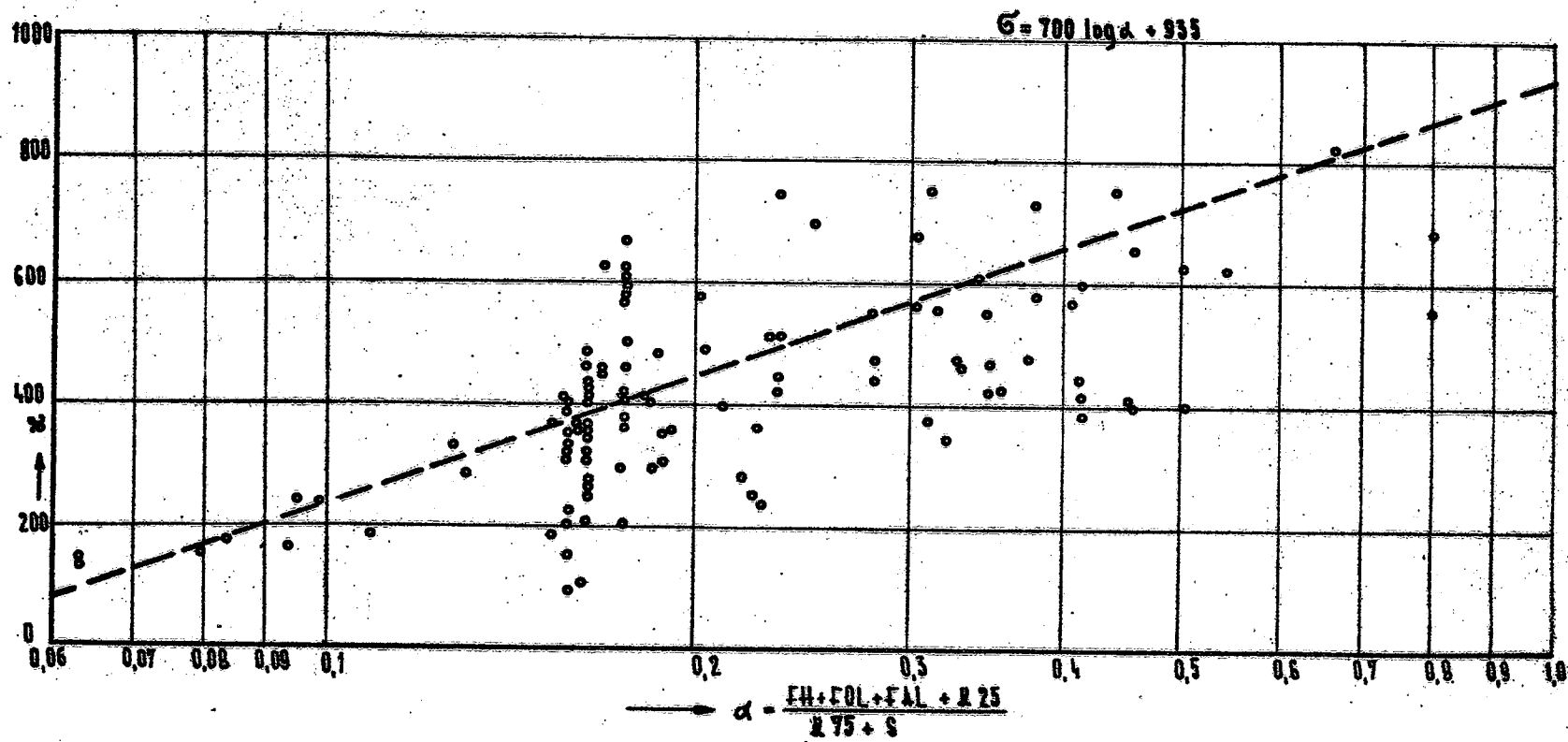


Stožení směsi (v.d.):
 FP 10
 P 150
 DM 3+10
 FAL 3+10
 Uložení:
 60°C, 15% RV
 stáří:
 14 dnů

obr. 41

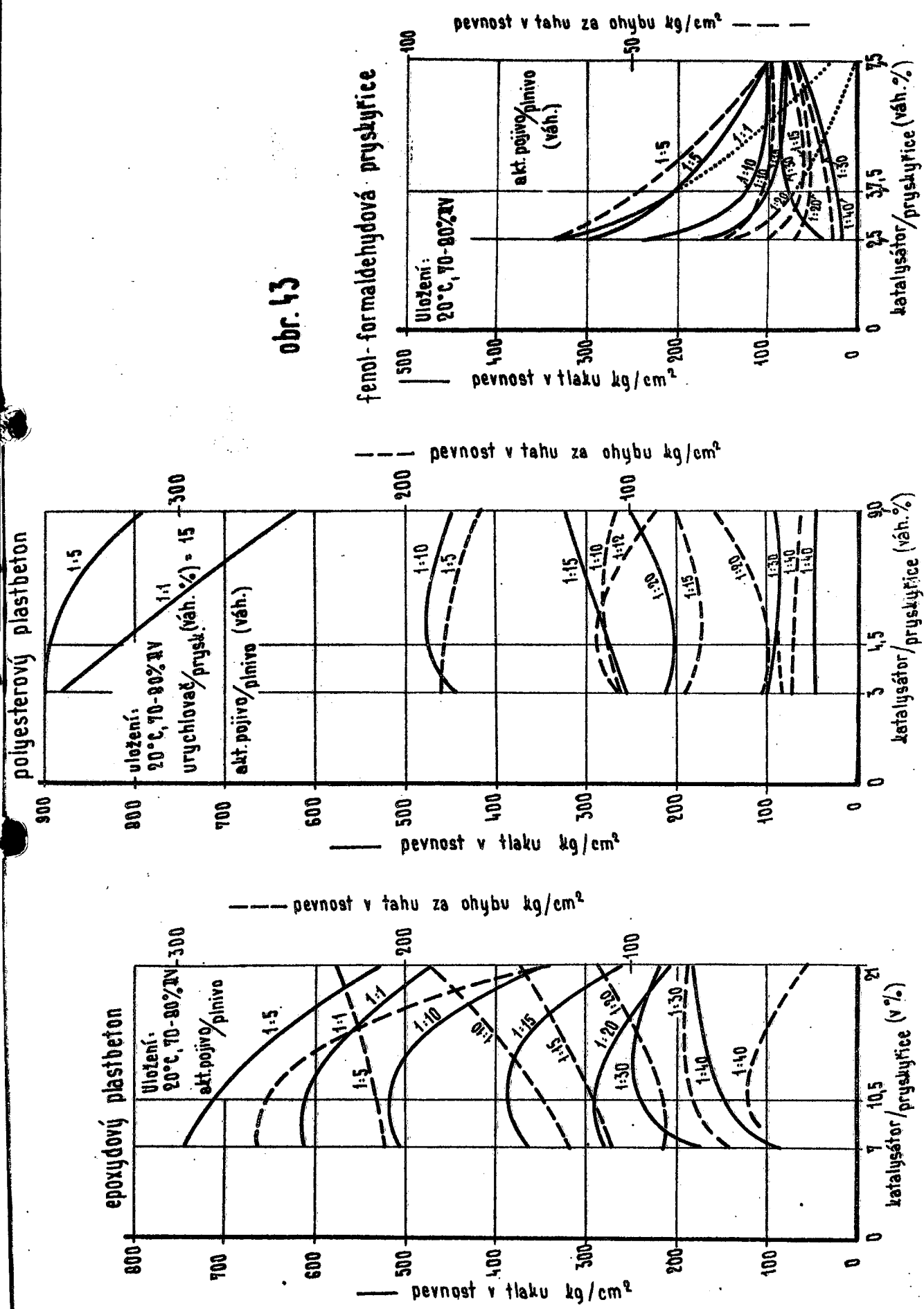


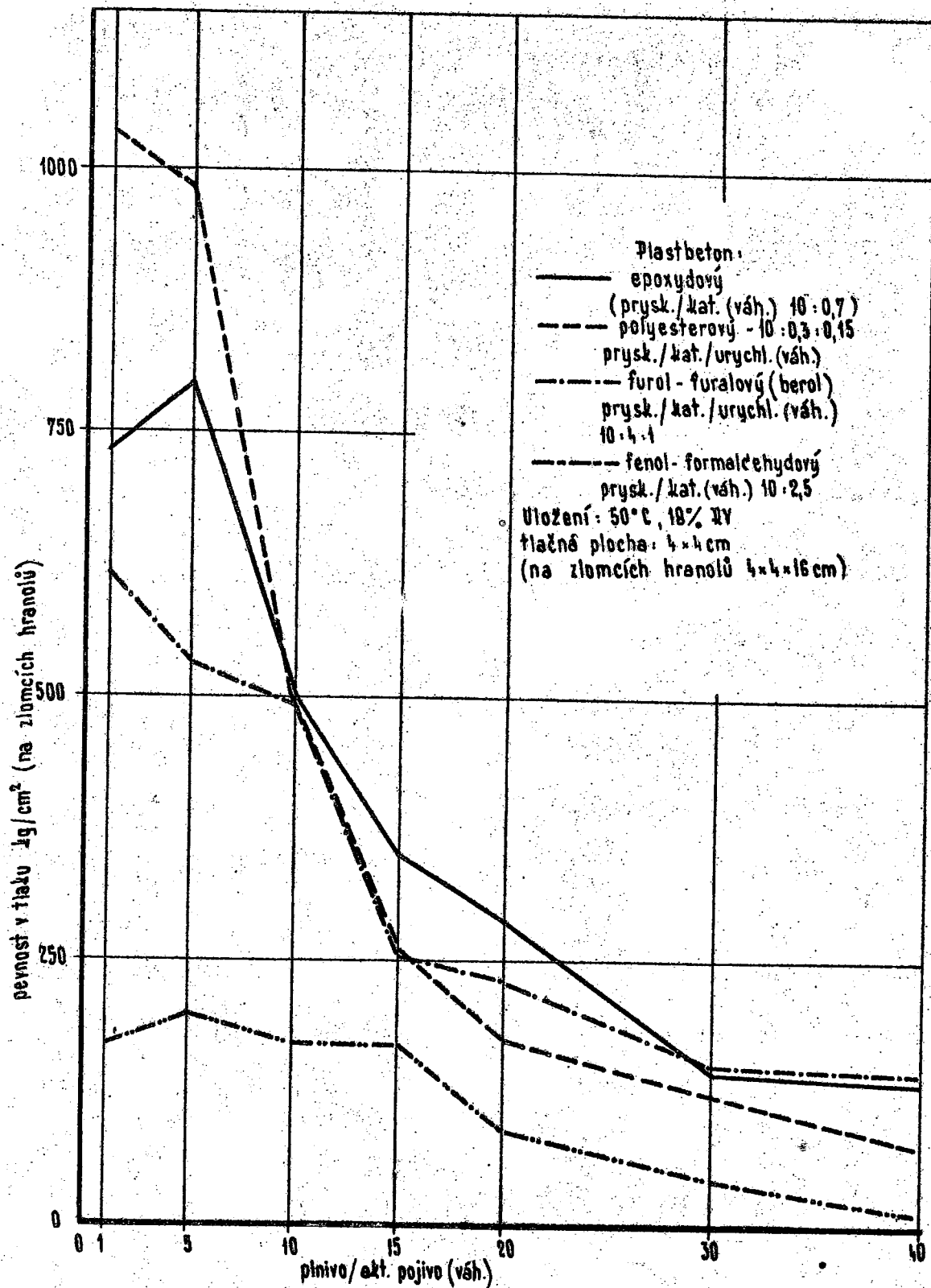
obr. 40



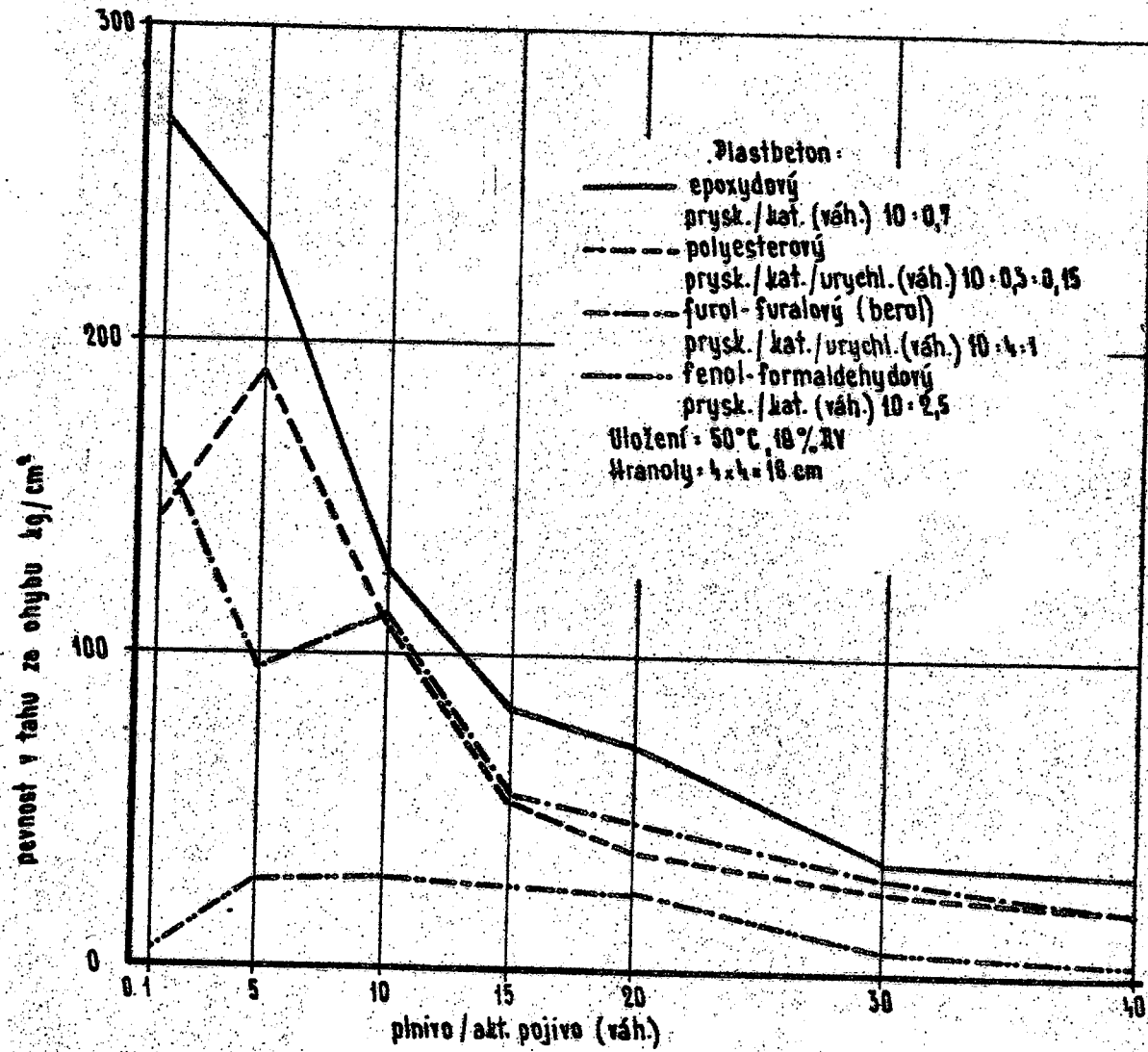
obr. 42

obr. 43

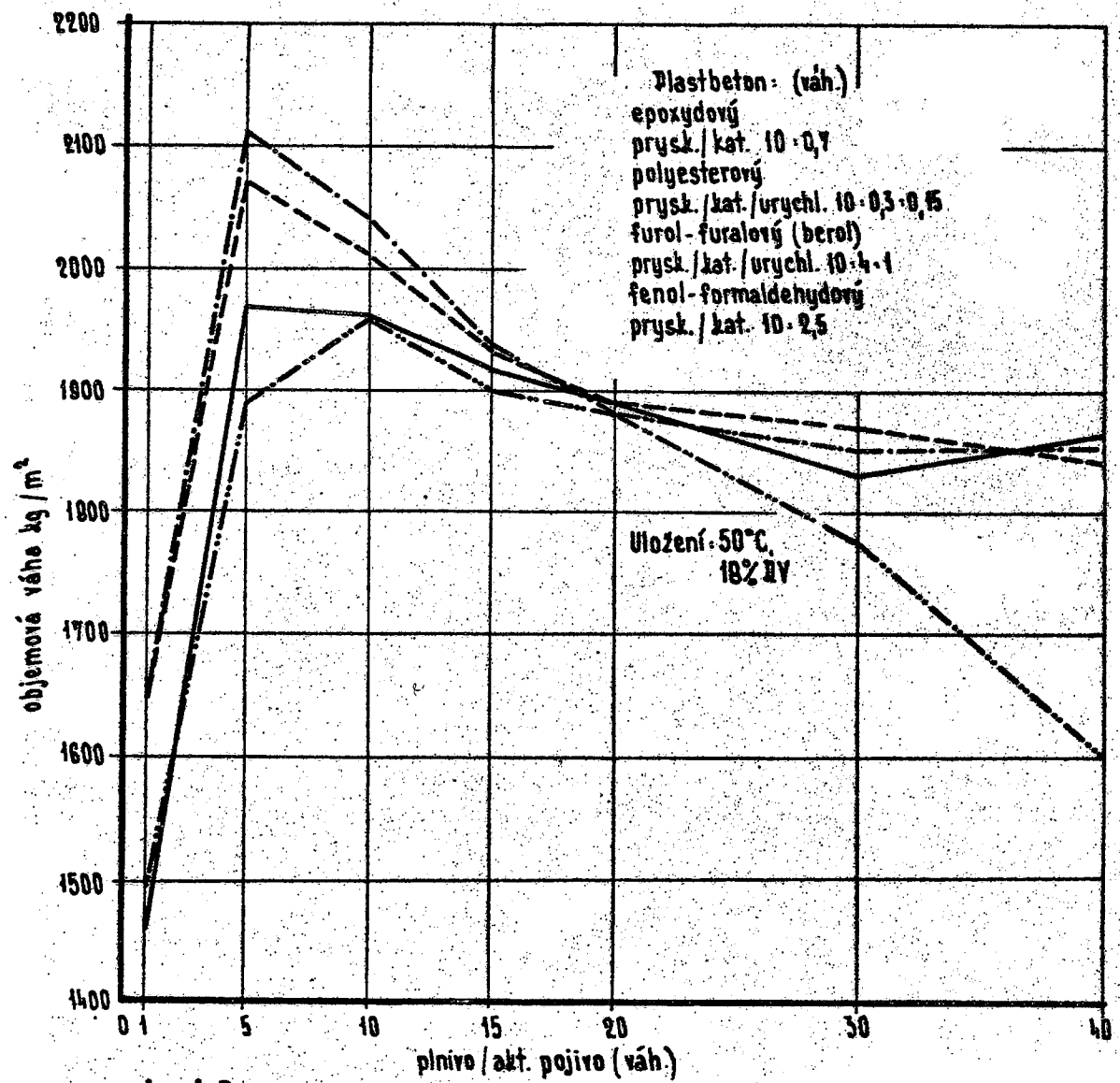




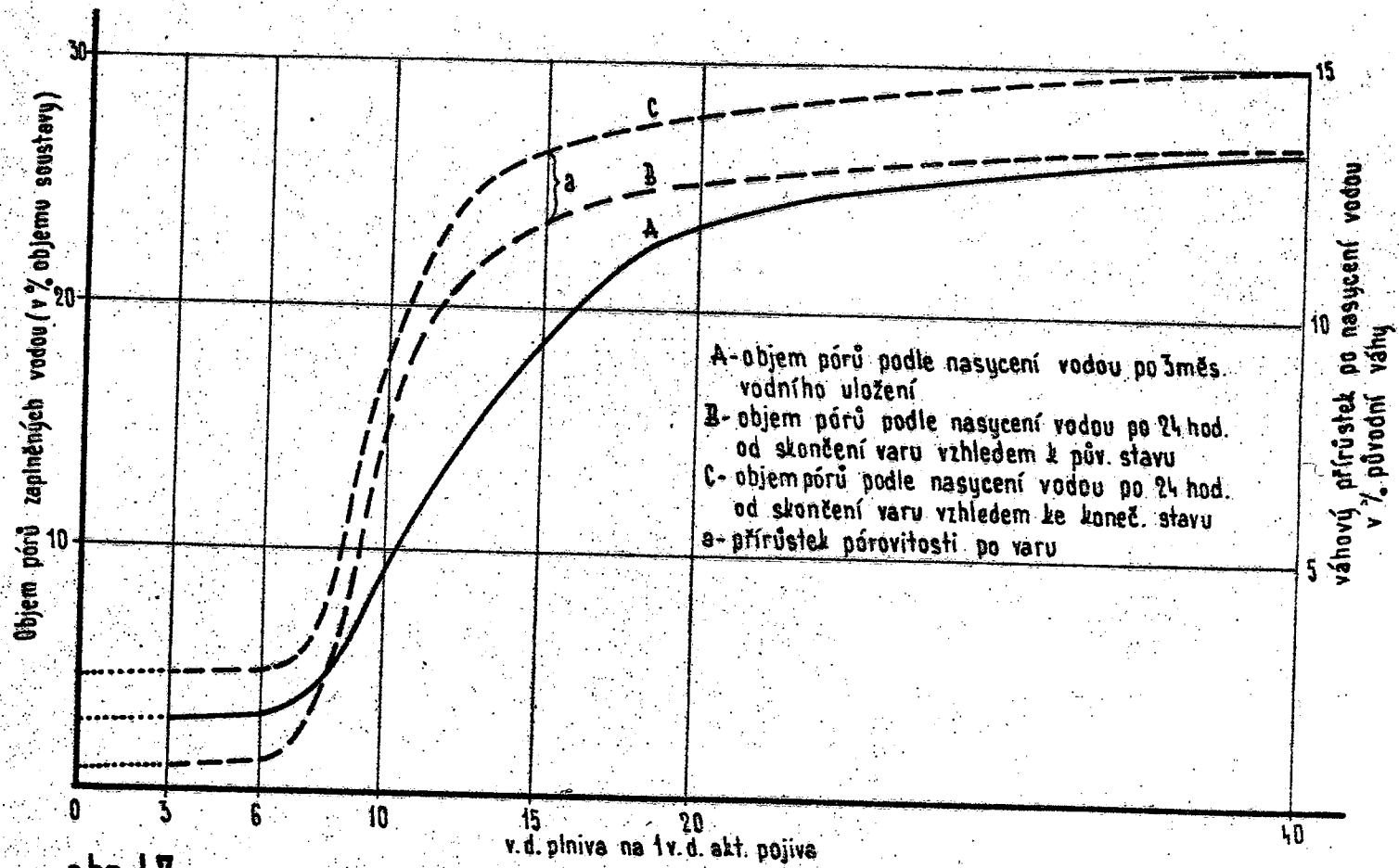
obr. 44



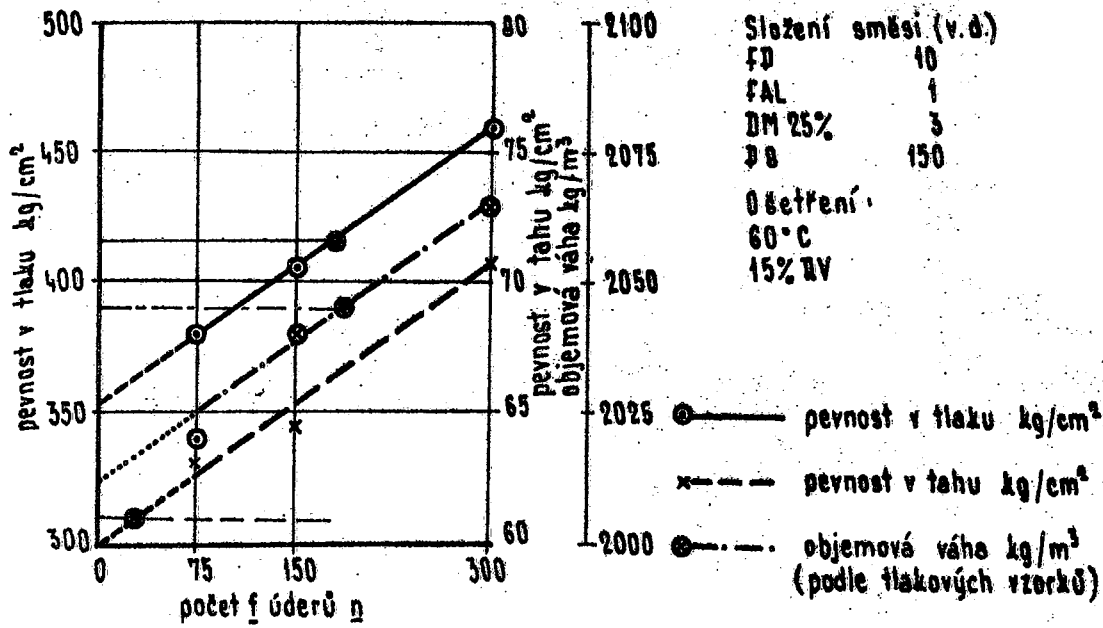
obr. 45



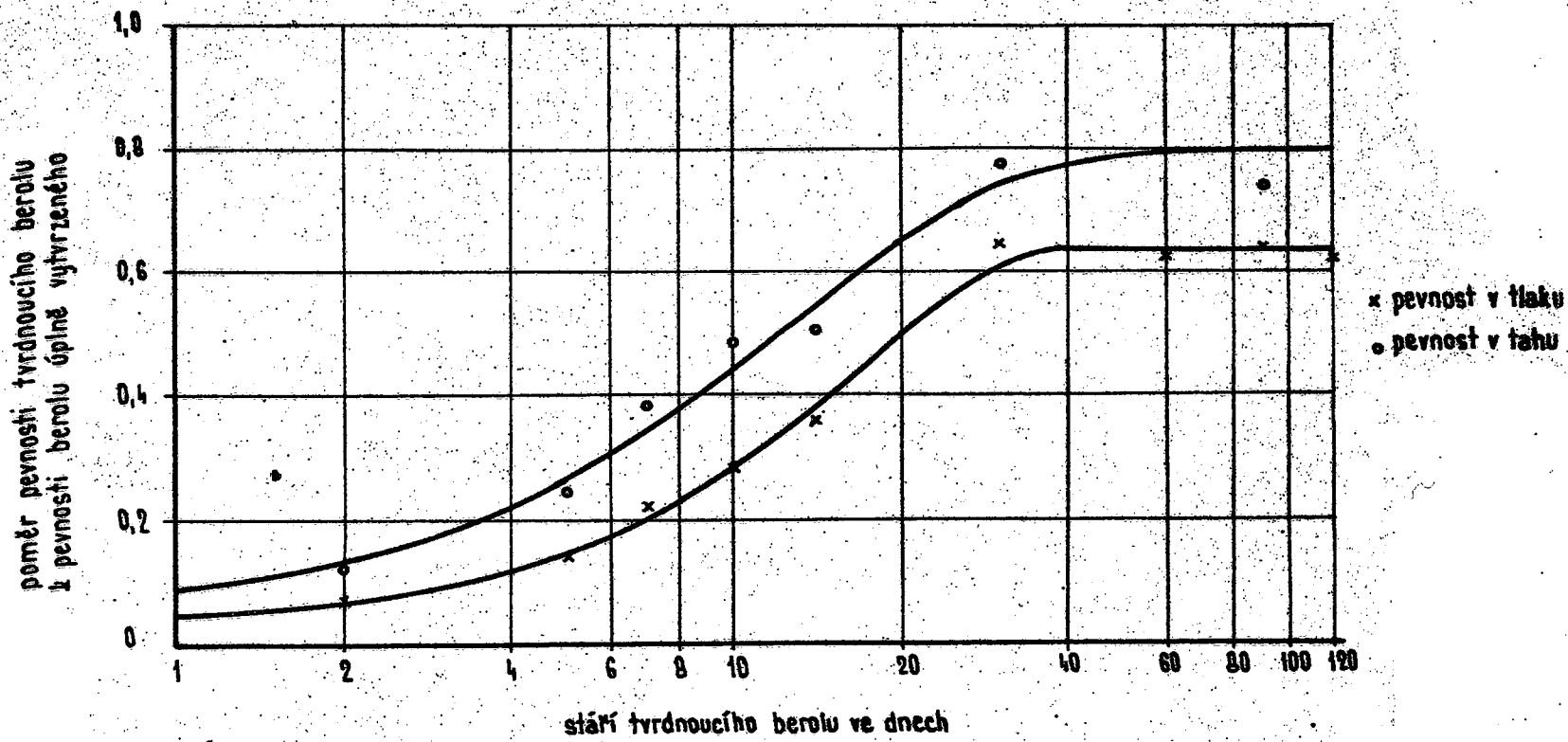
obr. 46



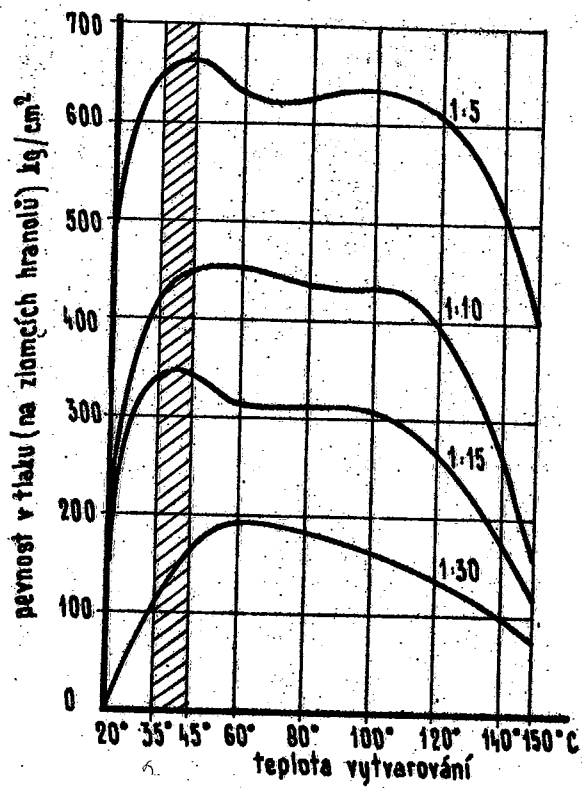
obr. 47



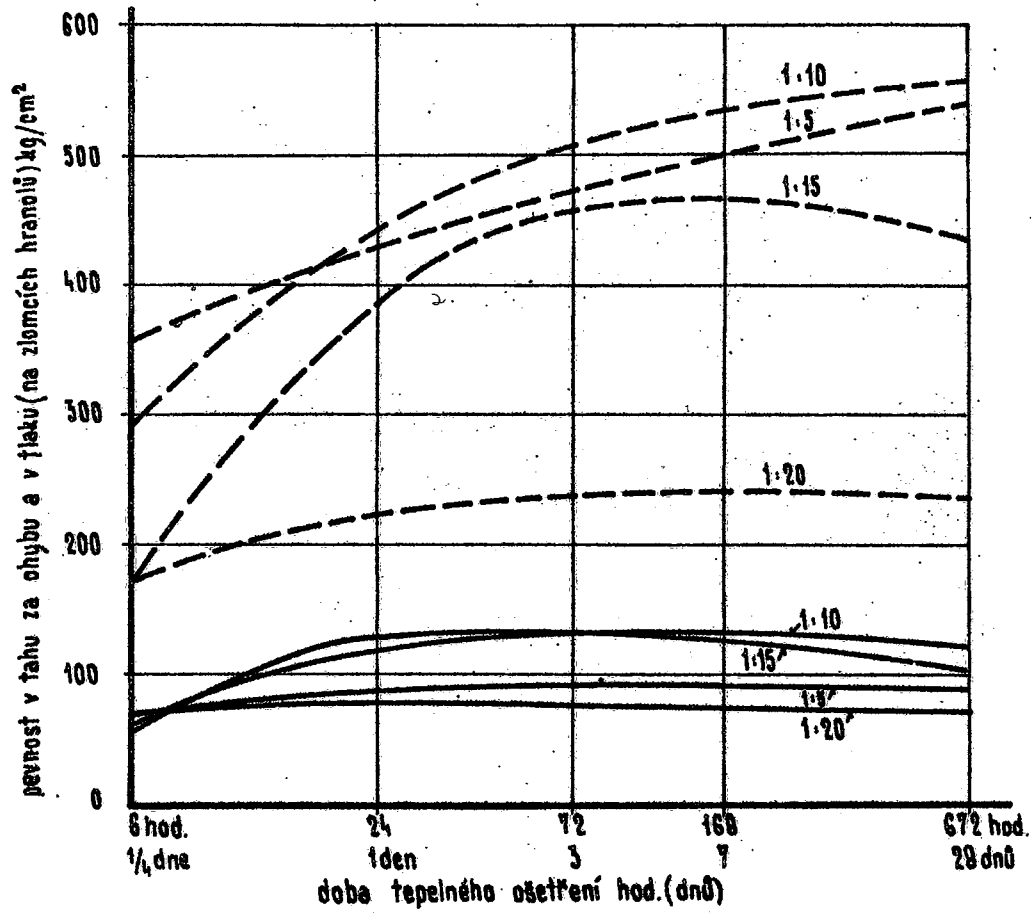
obr. 48



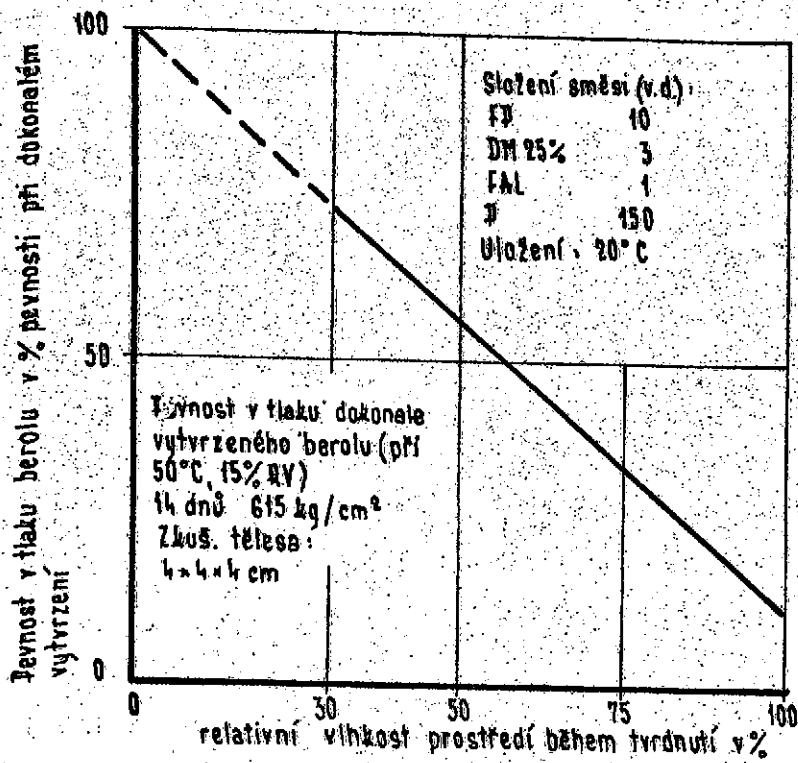
obr. 50
49



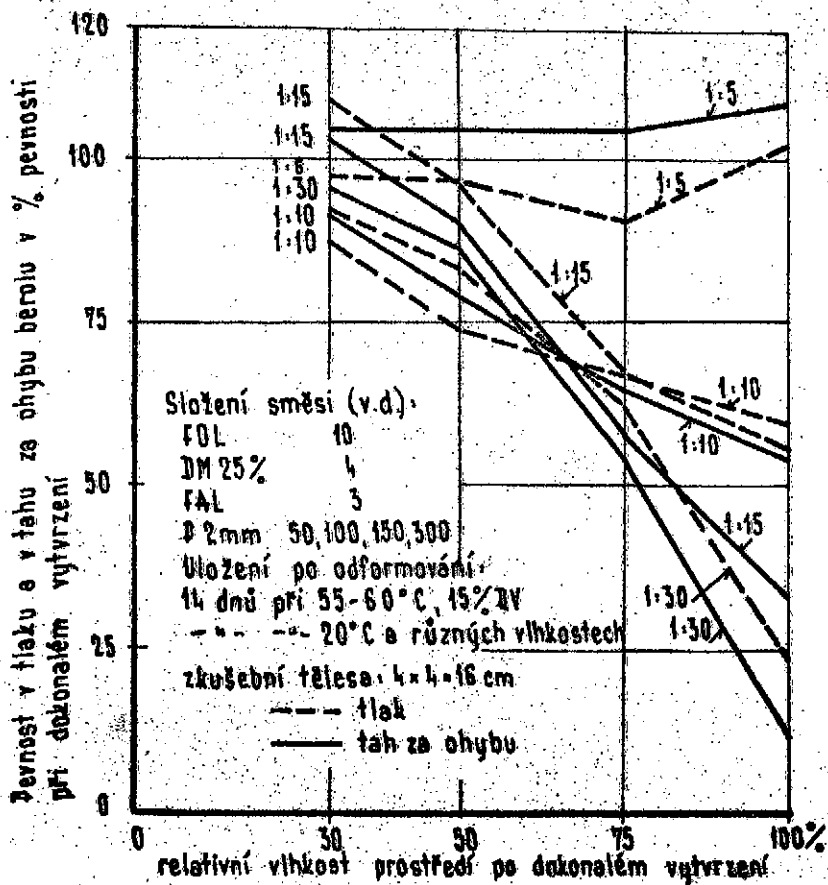
obr. 48
50



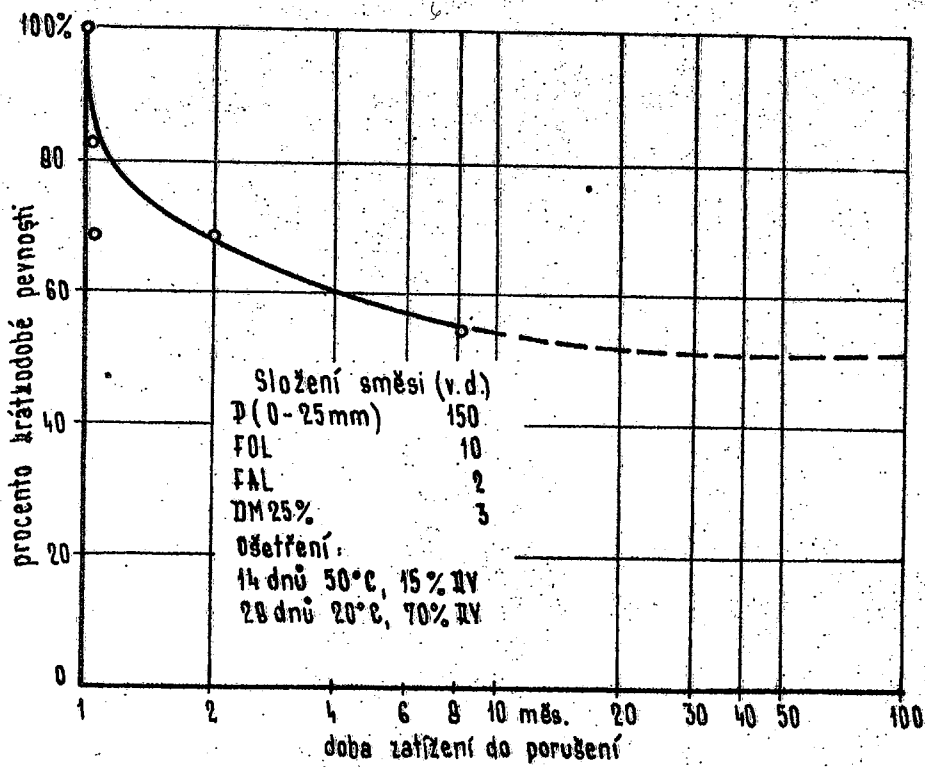
obr. 51



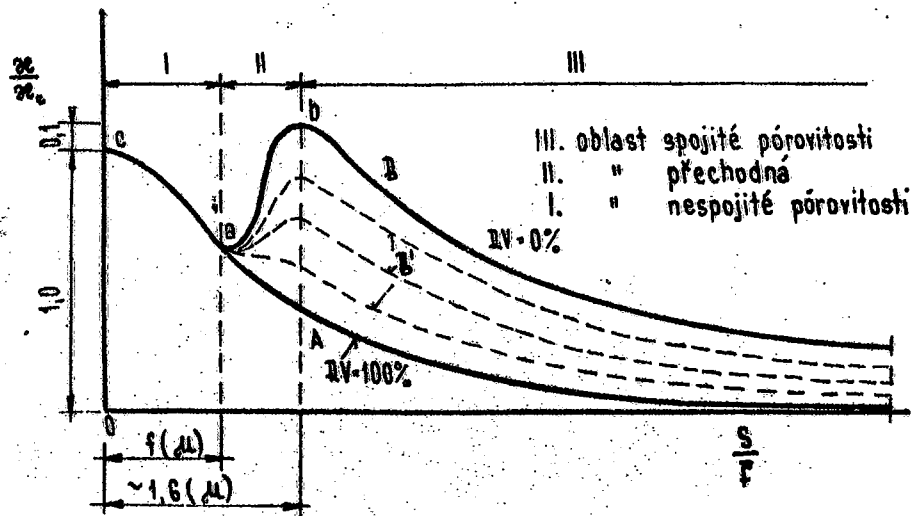
obr. 52



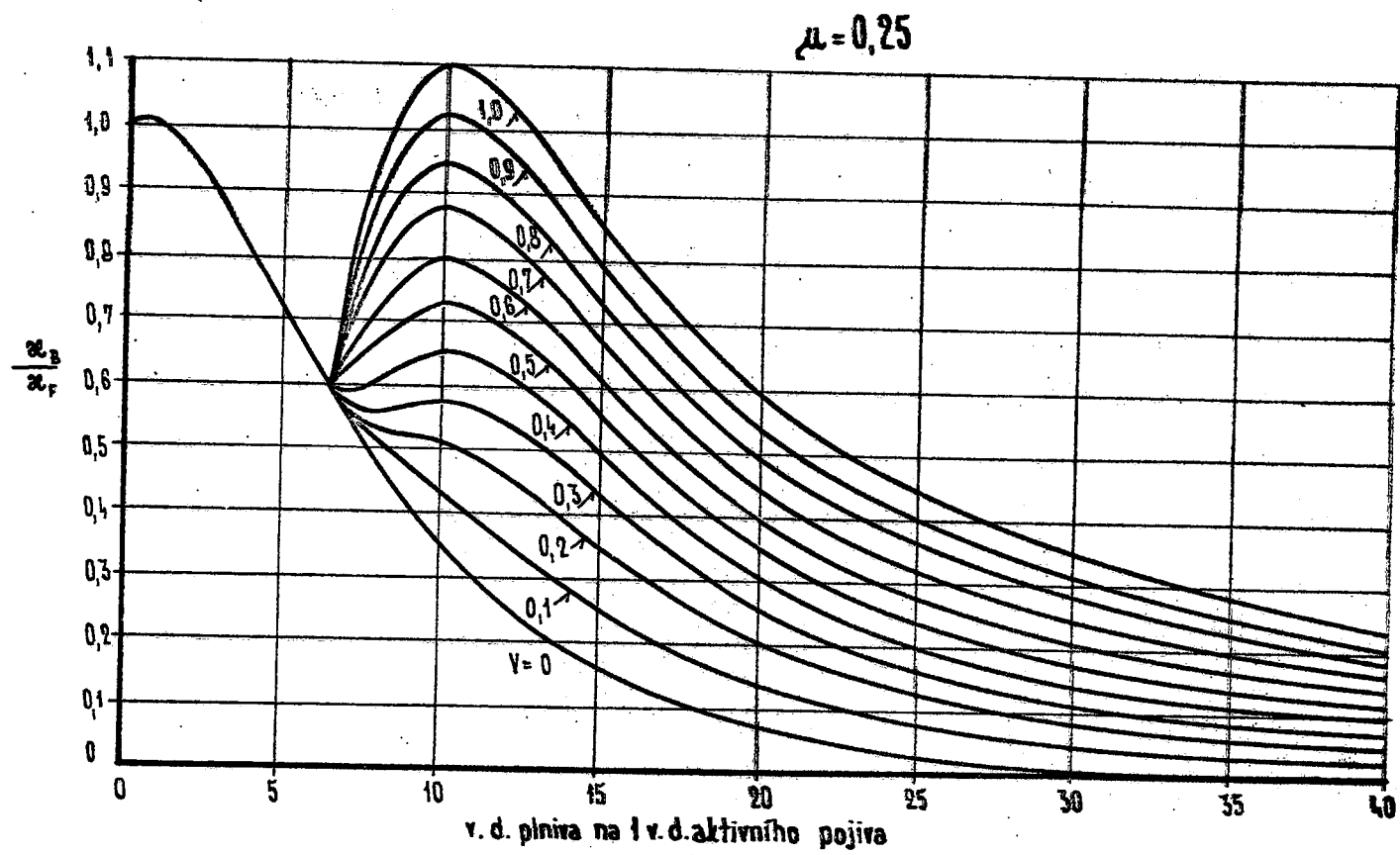
obr. 53



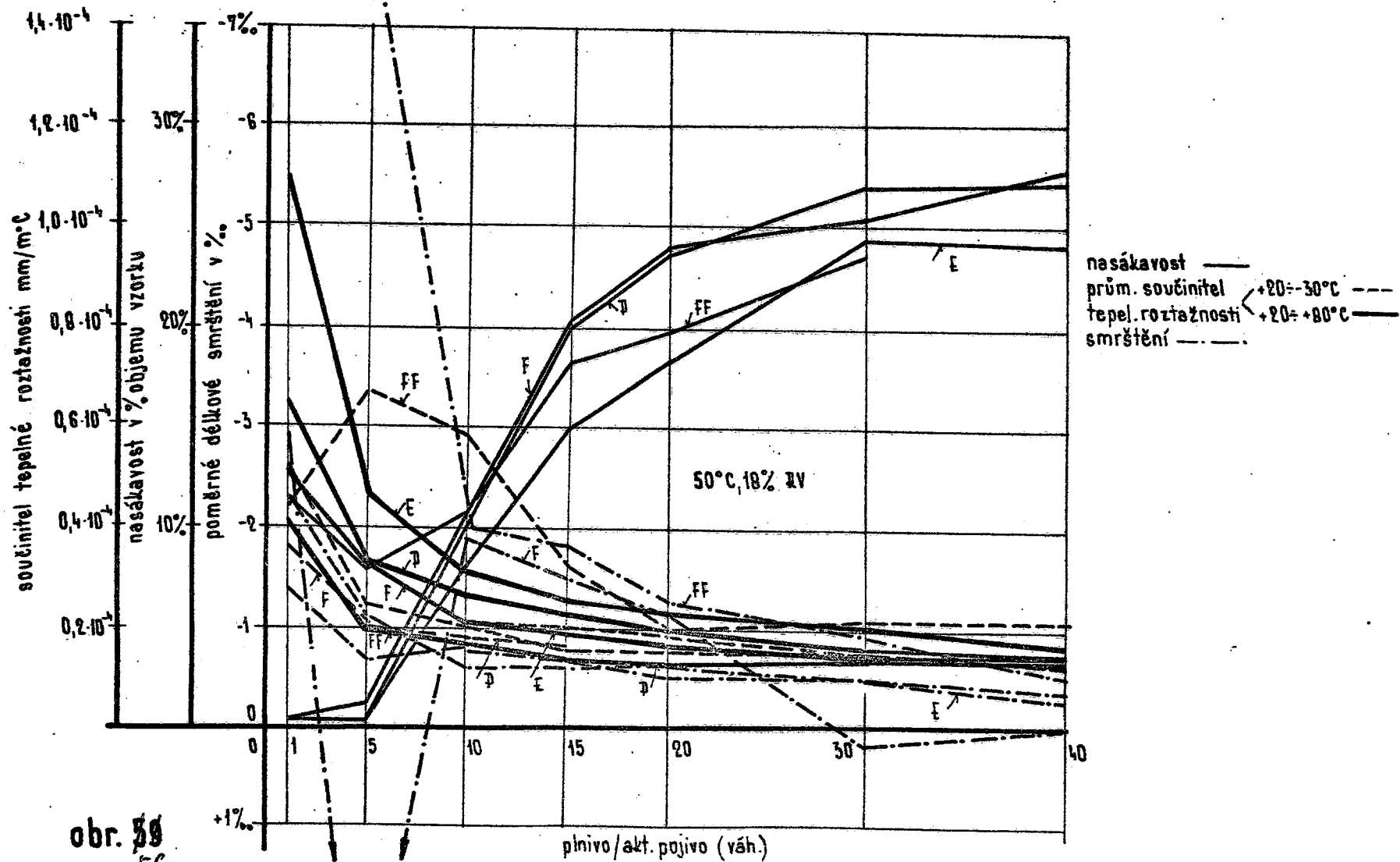
obr. 63
2



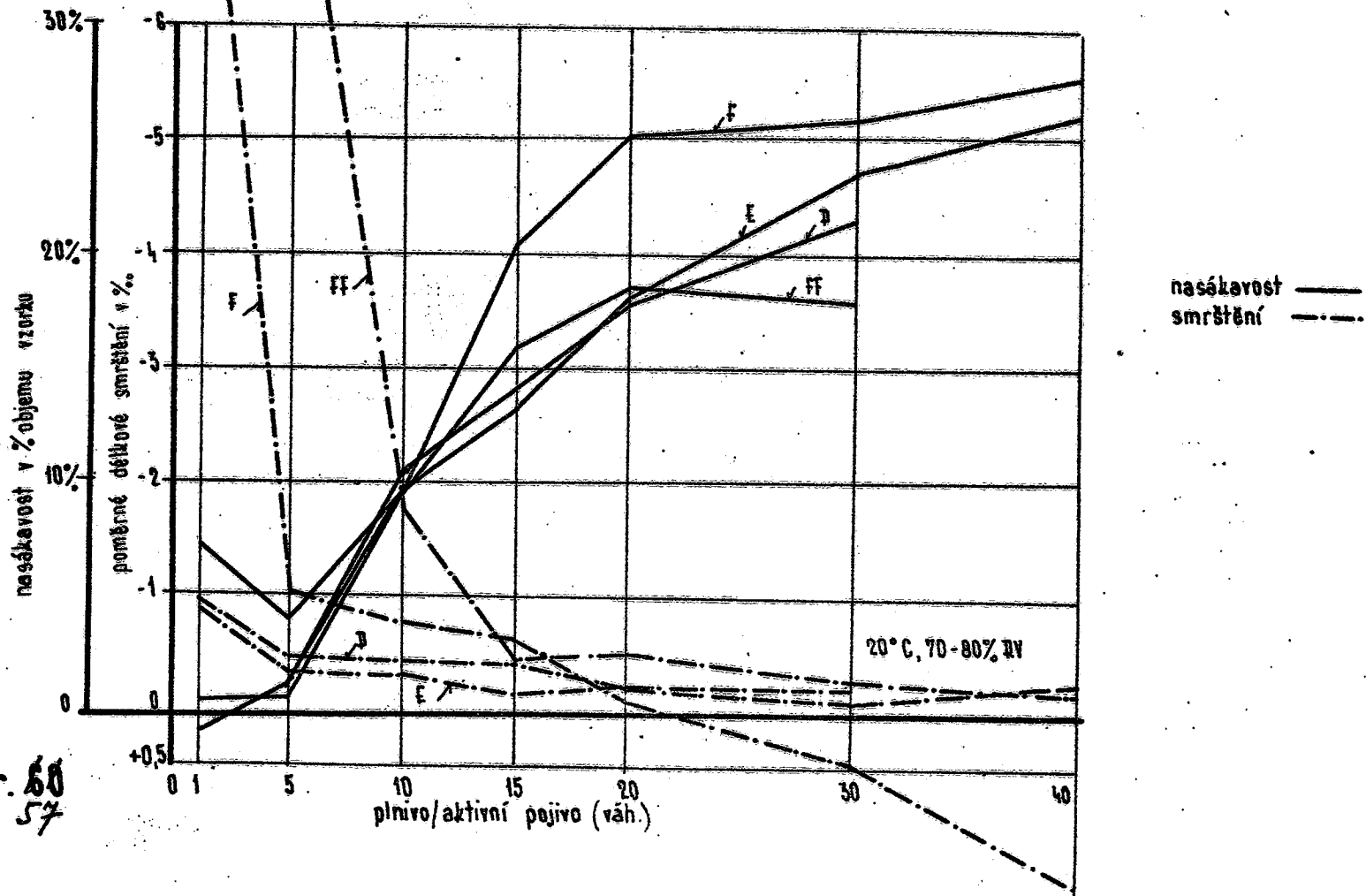
obr. 54



obr. 55



obr. 59
56

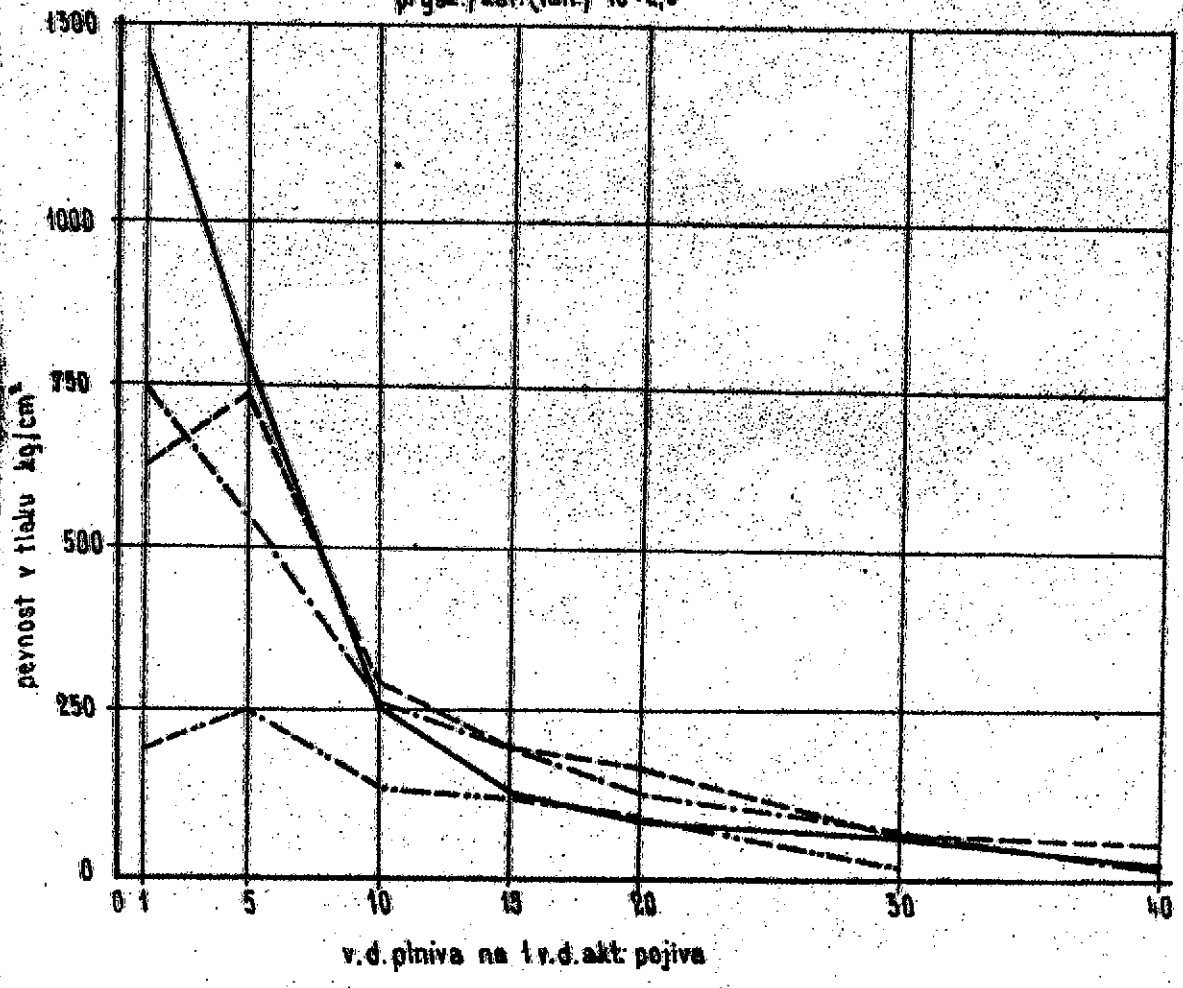


obr. 60
57

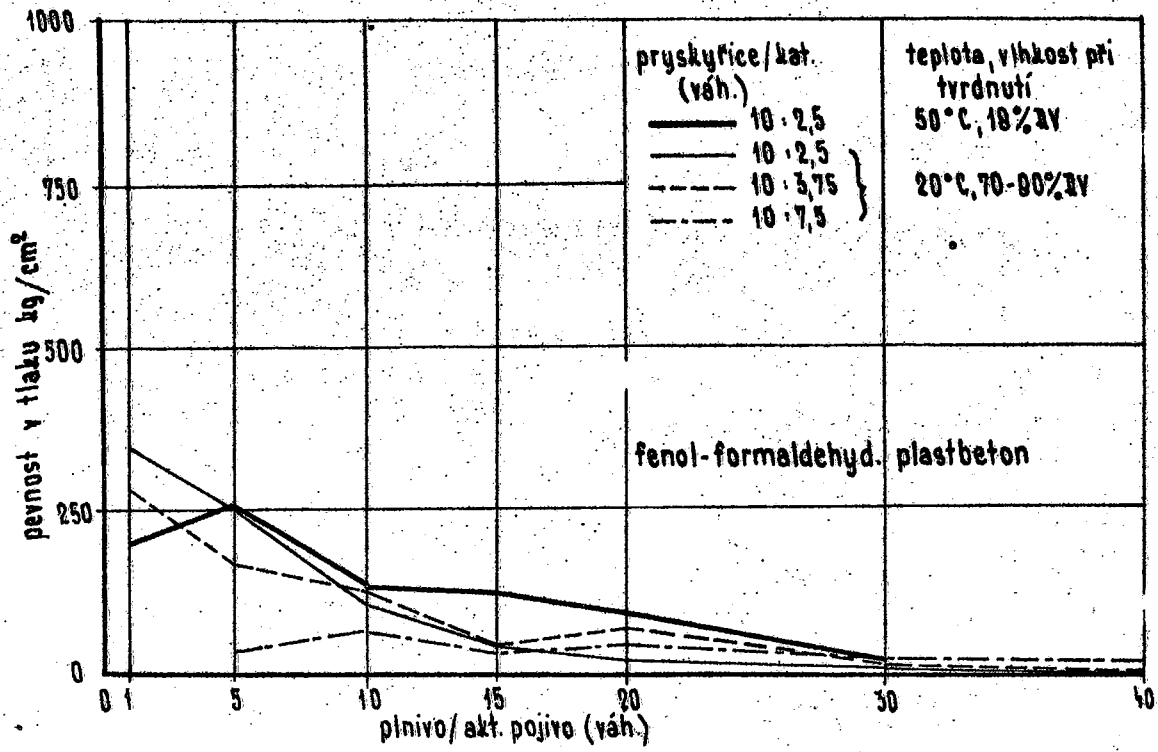
Plastbeton:

- epoxydový
(prysk./kat. (váh.) 10:0,7)
- polyesterový - 10:0,3:0,15
(prysk./kat./urychl. (váh.)
10:1:1)
- - - - - fureol-furalový (berol)
10:1:1
- · - · - fenol-formaldehydový
prysk./kat. (váh.) 10:2,5

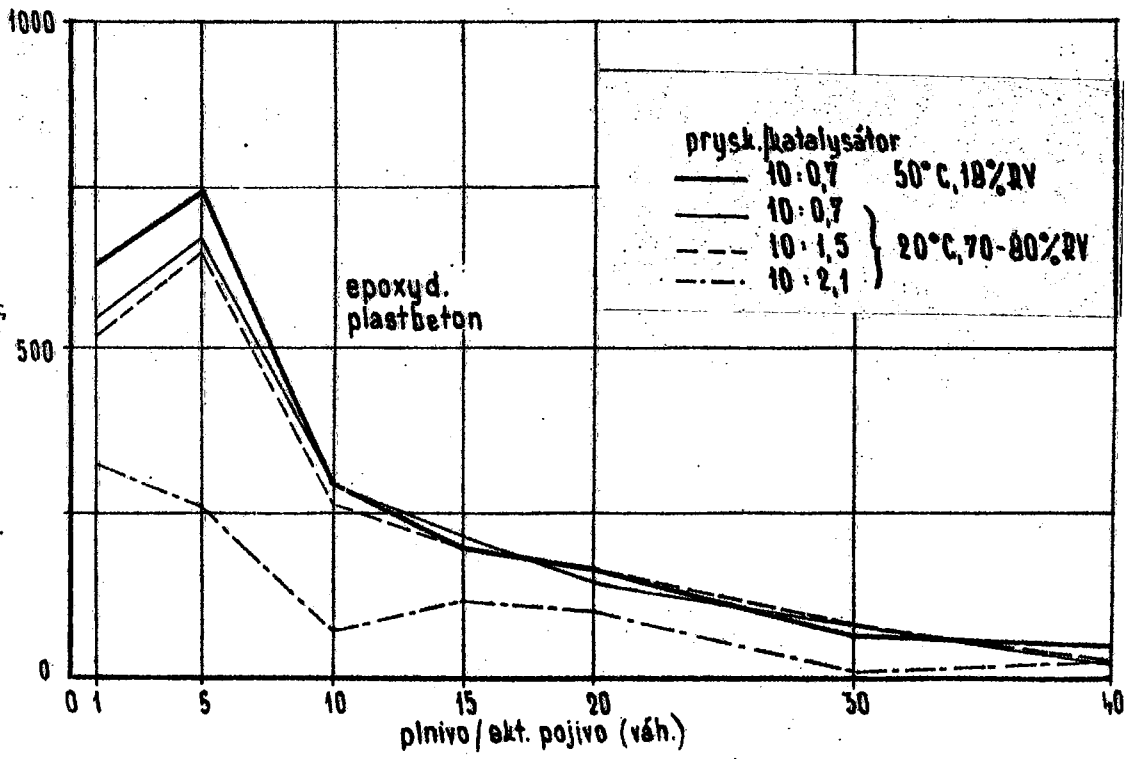
Uložení: 50°C, 10% DV
tlačná plocha: 4x4 cm
(na zlomcích hranolů 4x4x16 cm)



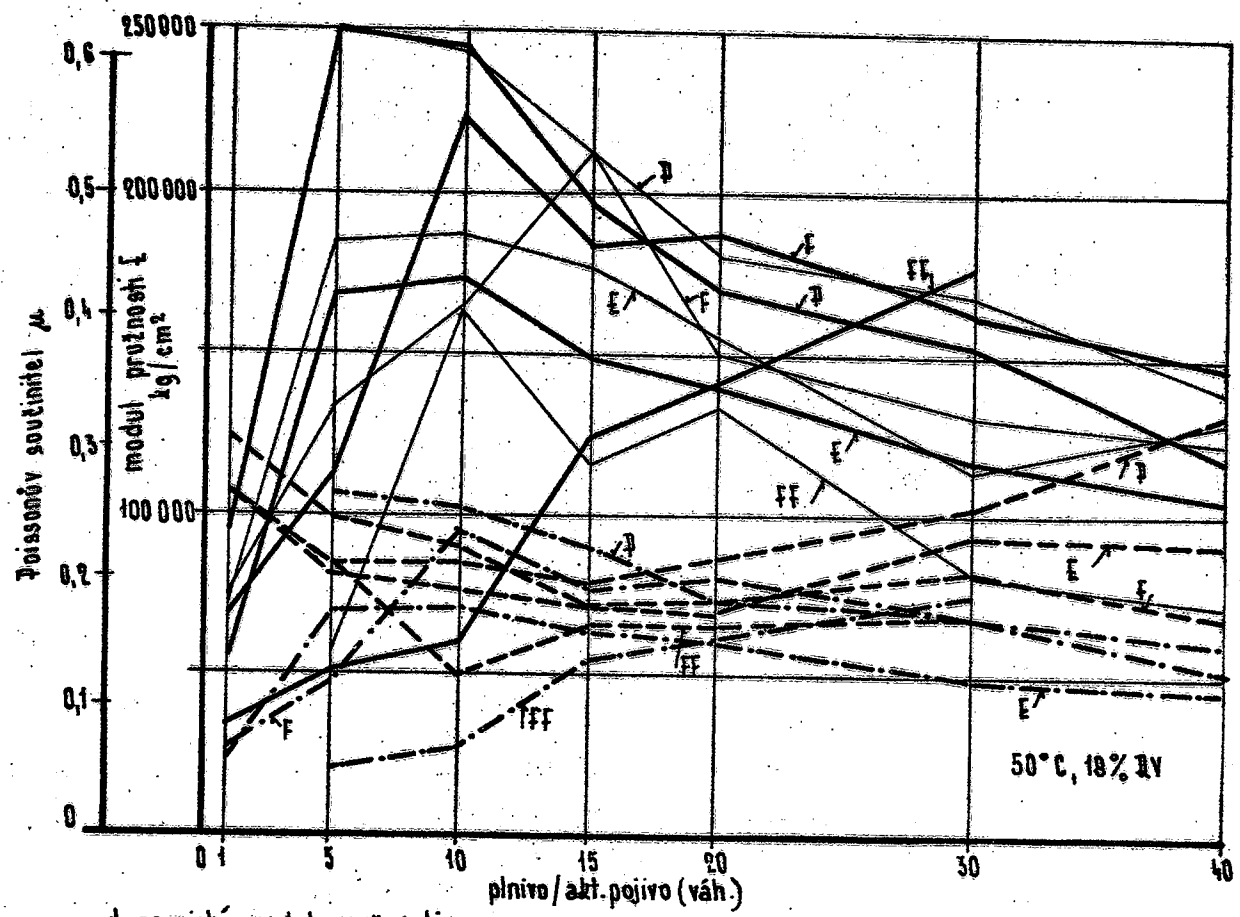
obr. 58



obr. 58 a

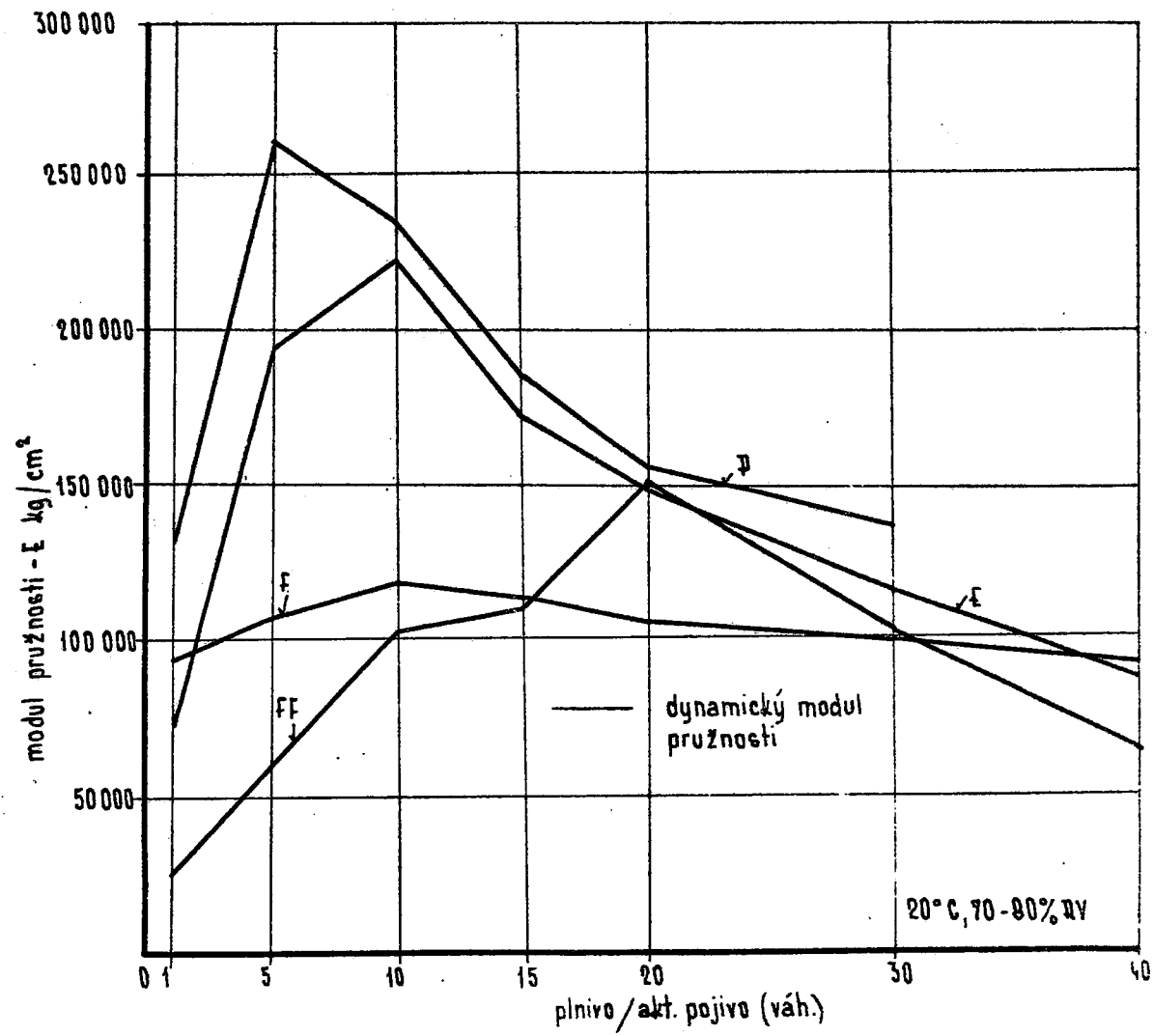


obr. 58 b

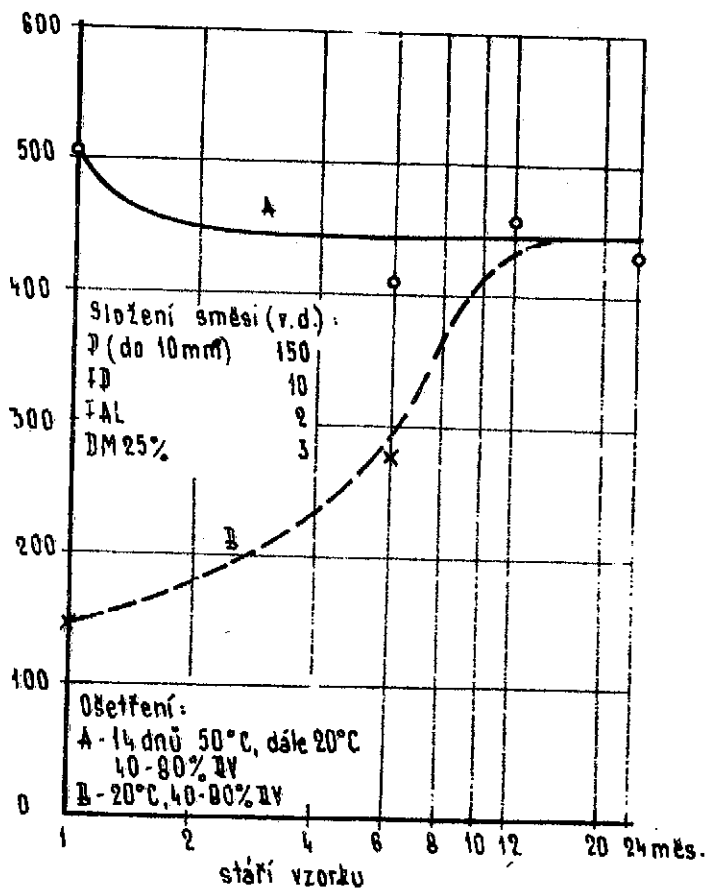


- dynamický modul pružnosti
 - průměrný modul pružnosti
 - - - průměrný Poissonův součinitel
 - průměrný modul ve smyku
- } pro napětí do $\sigma = \frac{2\epsilon}{3}$

obr. 87
59

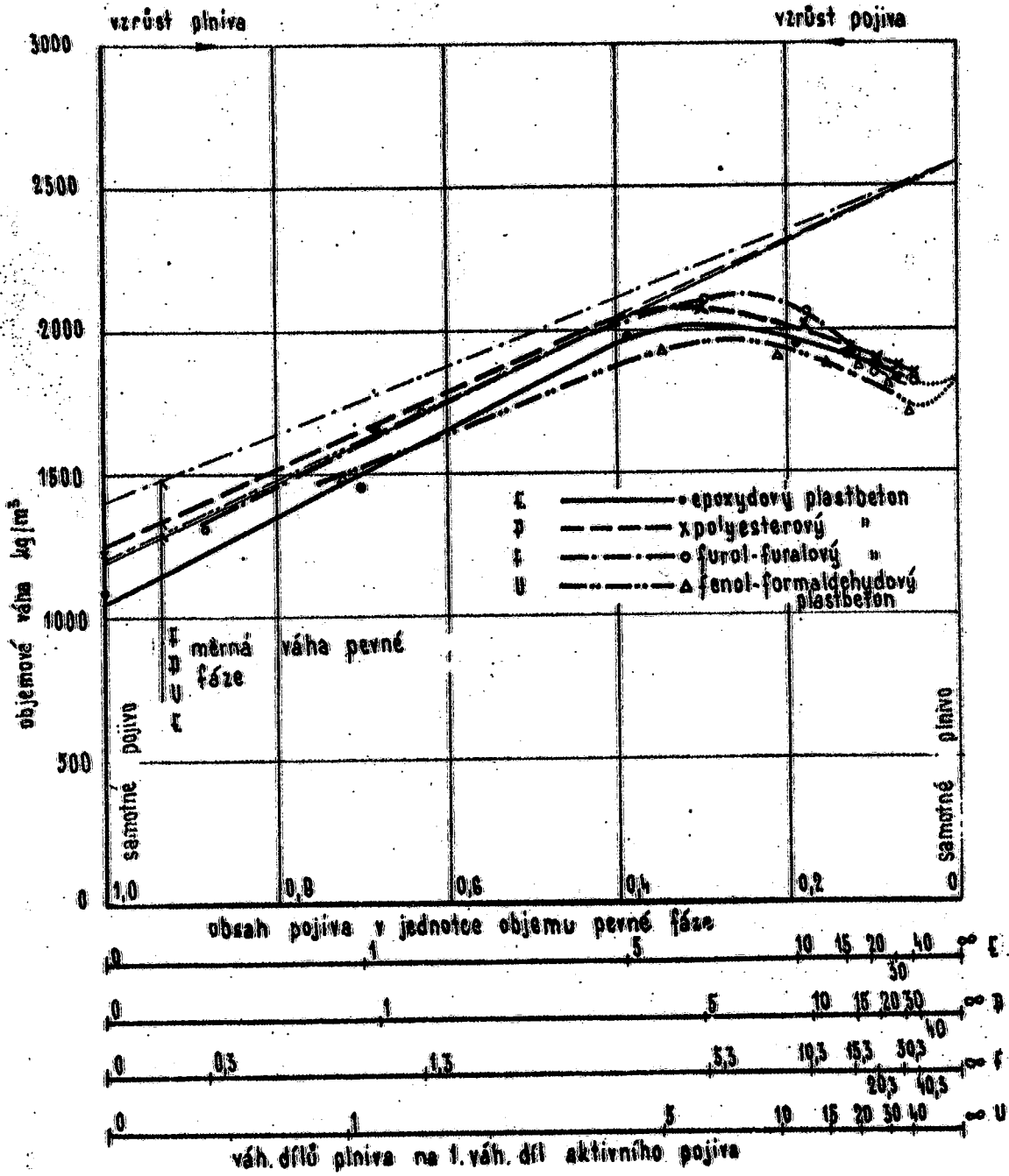


obr. 88
60



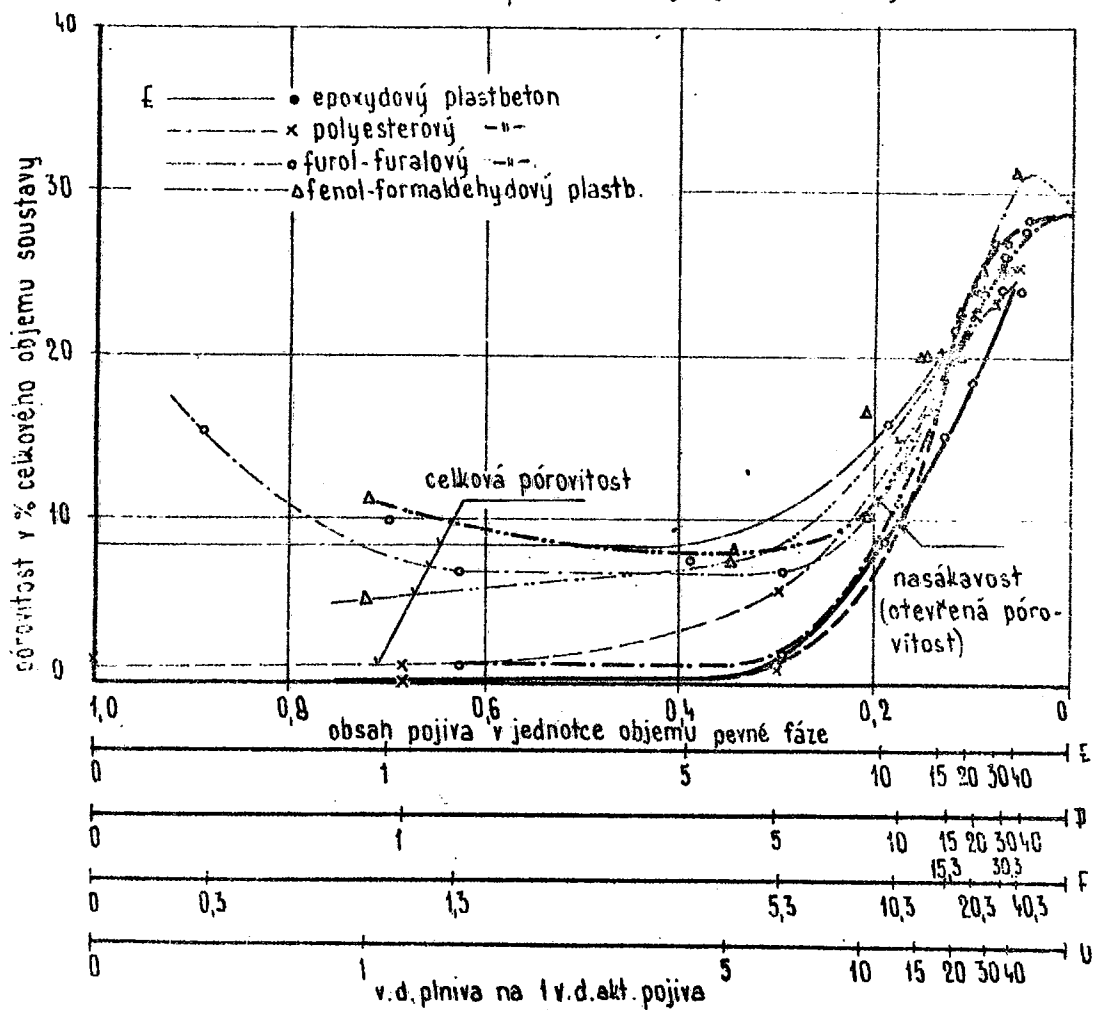
obr. 61

OBJEMOVÁ VÁHA

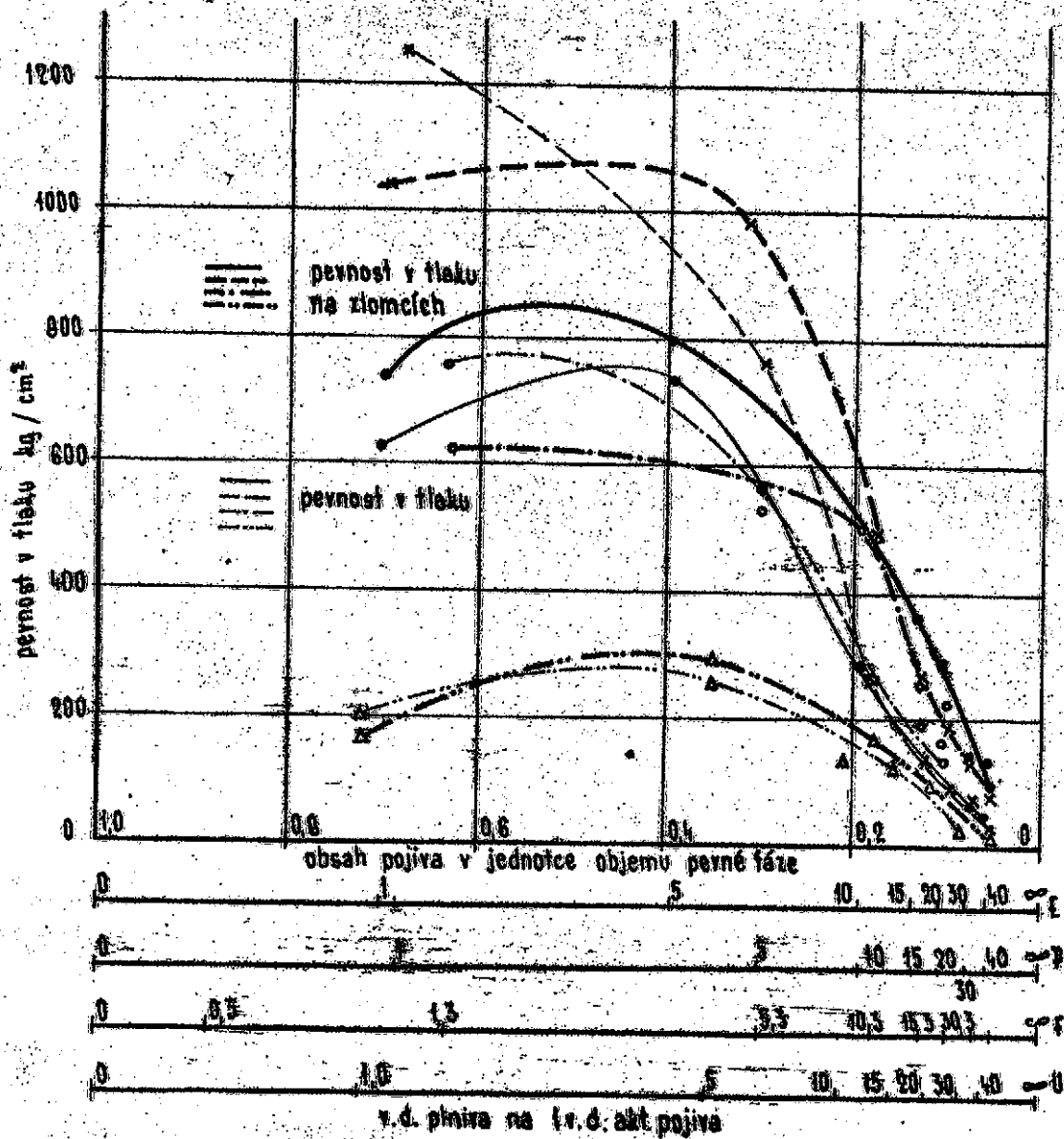


obr. 63

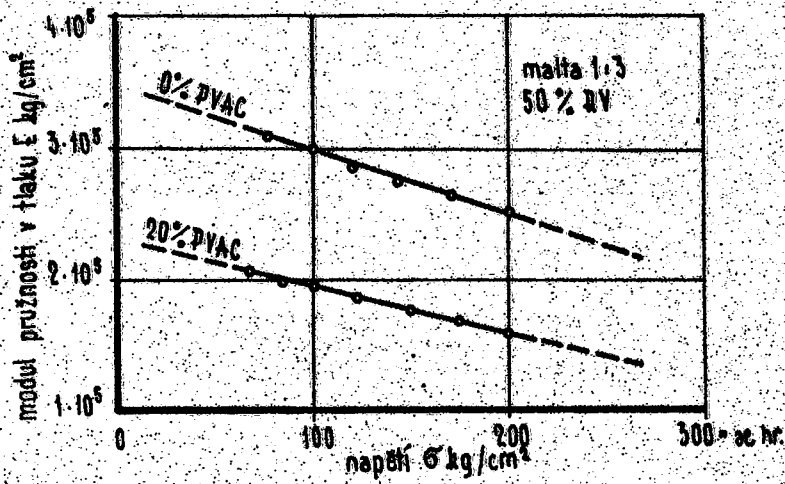
pórovitost v % objemu soustavy



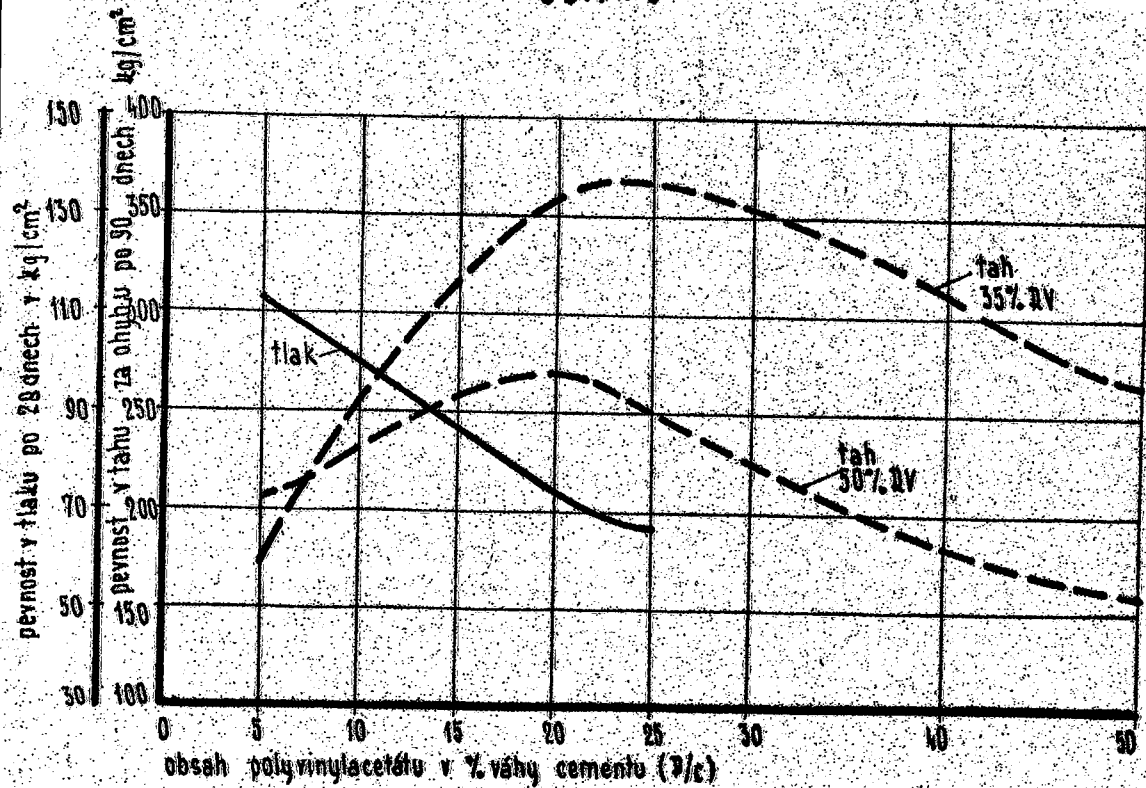
obr. 62
64



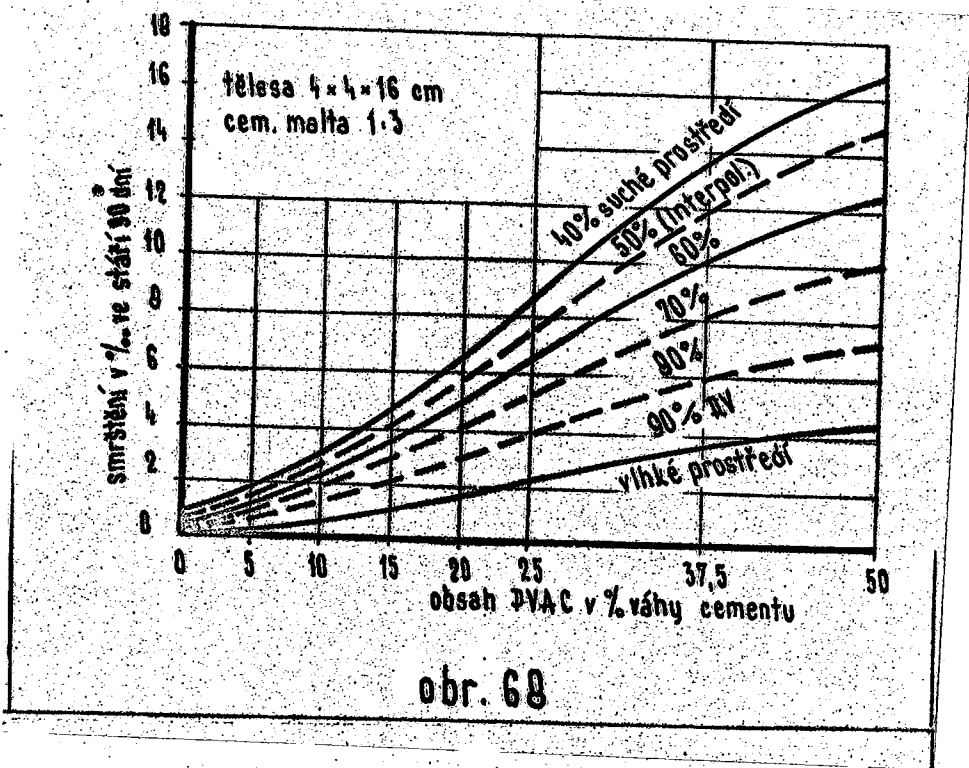
obr. 64
65



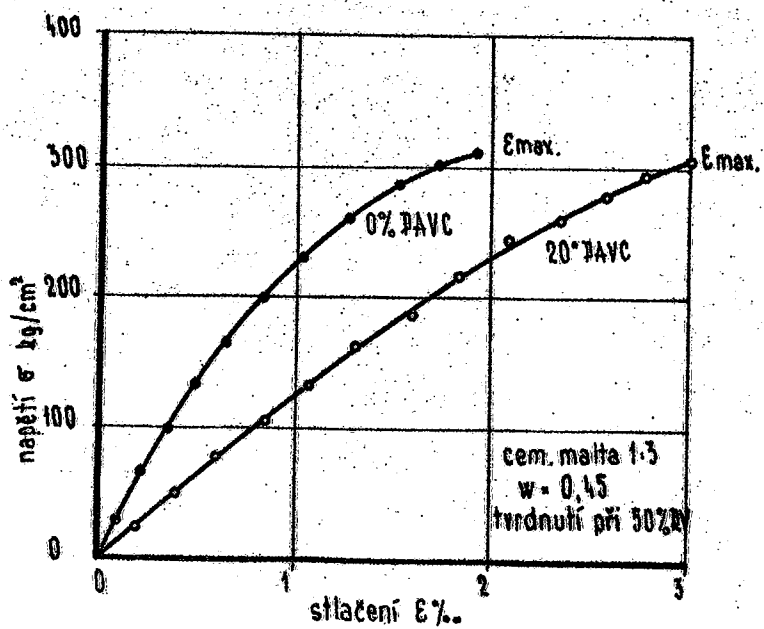
obr. 70



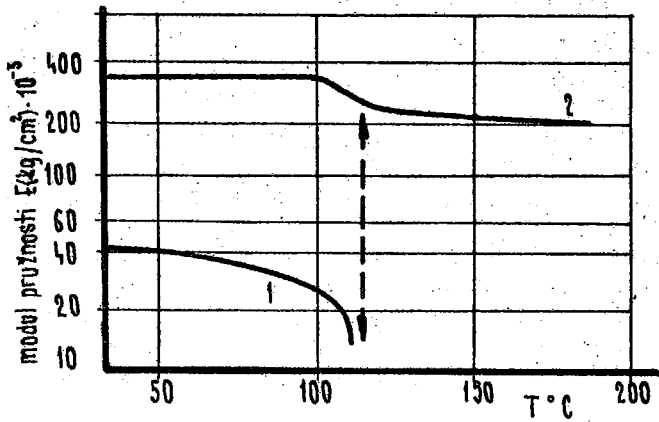
obr. 66



obr. 68

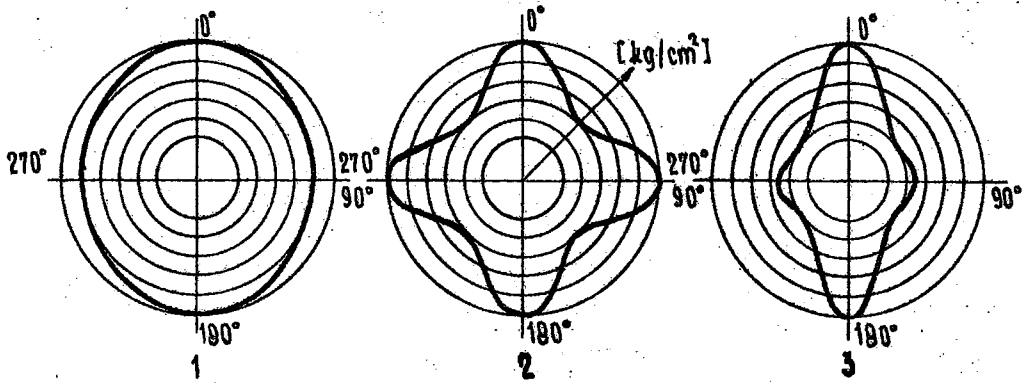


obr. 69

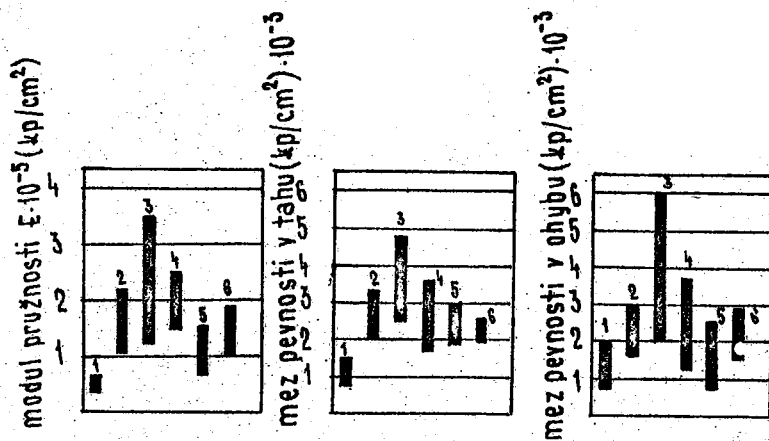


1... epox. pryskyřice
 2... -" - laminát

obr. 73

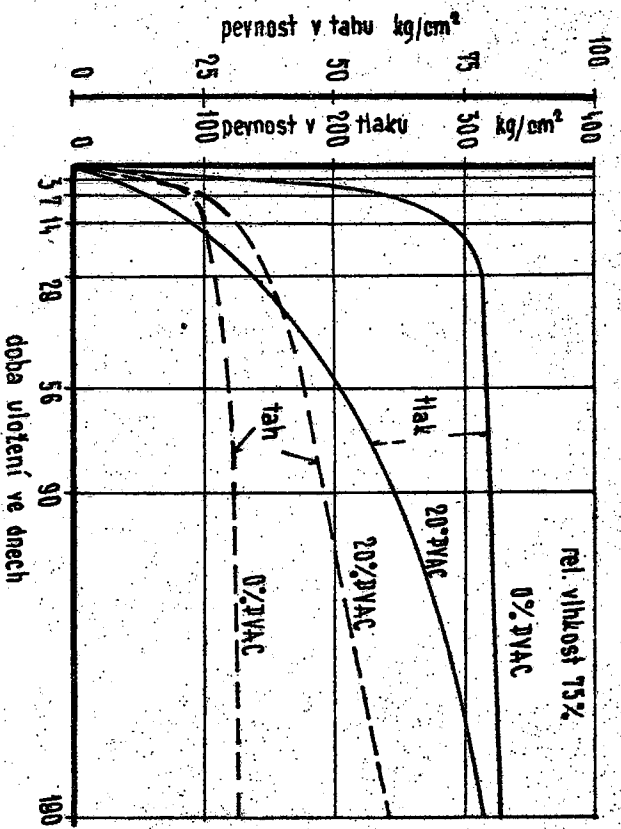


obr. 71

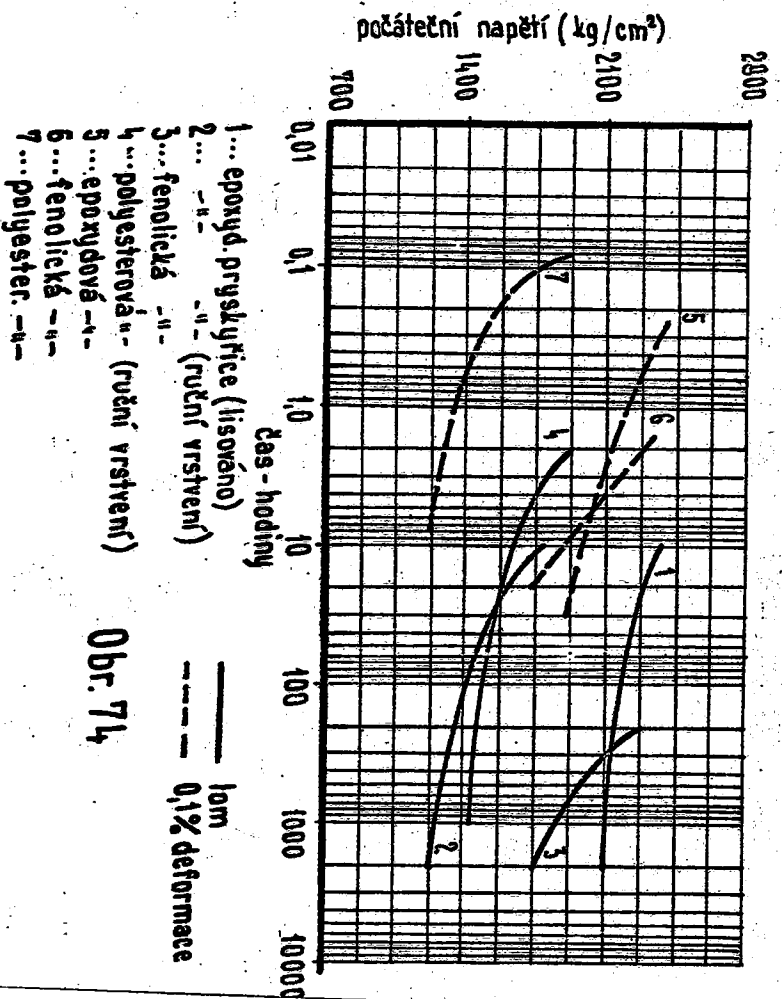


- 1 - fenolické vrstvené hmoty s organickou výztuží
- 2 - polyesterové lamináty
- 3 - epoxydové -"-
- 4 - fenolické -"-
- 5 - silikonové -"-
- 6 - melaminové -"-

Obr. 72



obr. 67



Obř. 74

Věc: Oprava obrázkové části učebních textů
 Ing. R. Bareše - Nové stavební materiály a jejich aplikace
 v chemickém průmyslu

Vážený soudruhu,

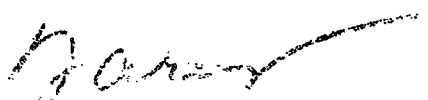
nedopatřením došlo k několika chybám v obrázkové části učebních textů Ing. R. Bareše - Nové stavební materiály a jejich aplikace v chemickém průmyslu. Žádáme Vás, abyste si laskavě opravil podle dále uvedeného seznamu obrázkovou část těchto textů a zároveň nás oslulil.

- Obr. 24 a 25 - nahraďte novými přiloženými obr. č. 24 a 25
- Obr. 43 - polyesterový plastbeton - na spodní stupnici má být místo 90 správně 9,0
 - fenolformaldehydová pryskyřice - na spodní stupnici má být místo 25;37,5;75 správně 2,5 ; 3,75 ; 7,5
- Obr. 49 - změňte na č. 50
- Obr. 50 - " na č. 49
- Obr. 65 - " na č. 62
- Obr. 56, 56a, 56b, 56c, 56d - změňte na č. 58, 58a, 58b, 58c, 58d
- V obr. 58 (podle nového číslování) - platí plná čára pro polyesterový a čárkovaná čára pro epoxidový plastbeton.
- Obr. 58b (podle nového číslování) - do obrázku vlepte text označený obr. 58b na přiloženém listě
- Obr. 58c (podle nového číslování) - do obrázku vlepte text označený obr. 58c na přiloženém listě
- Obr. 58d (podle nového číslování) - do obrázku vlepte text označený obr. 58d na přiloženém listě
- Obr. 57 - změňte na č. 59
- Obr. 58 - " na č. 60
- Obr. 59 - " na č. 56
- Obr. 60 - " na č. 57
- Obr. 62 - " na č. 64
- Obr. 64 - " na č. 65
- Obr. 68 - přelete novým obráskem č. 68 na přiloženém listě

Obr. 73 - k obrázku vlepíte text označený obr. 73 na přiloženém listě

Obr. 72 - přeložte obrázkem č. 74 na přiloženém listě
podatečně k obrázkům si vlepíte ještě přiložený obr. č. 72.

S pozdravem


Ing. K. Sareš C.Sc.

HP