

Dav
NOVÉ

Arch.

IZOLAČNÍ

HMOTY

**NA INŽENÝRSKÝCH
STAVBÁCH**

**SBORNÍK
PŘEDNÁŠEK**

Dům techniky ČVTS Praha

NOVÉ IZOLAČNÍ HMOTY
NA INŽENÝRSKÝCH STAVBÁCH

Praha 1974

KONSTRUKČNĚ-IZOLAČNÍ HMOTA BEROL

R. Bareš,
Ústav teoretické a aplikované mechaniky
Československé akademie věd

Jednou z důležitých oblastí využití plastických hmot ve stavebnictví se stala náhrada tradičních pojiv (cementu, sádry) v uměle připravovaných tuhých materiálech (beton, malty) makromolekulárními pojivy. Jejich použití přináší mnohé technické výhody, má však i některé nevýhody a těžkosti. Chování takových materiálů ve využívání je silně odlišné od chování materiálů tradičních a rovněž jejich příprava a další požadavky jsou jiné. Jedním z prvních materiálů tohoto druhu, jež se souborně nazývají (nepříliš vhodně) plastbetony, byl berol, který vznikl v letech 1958 až 1959, plastbeton s furanovým pojivem. Jeho prosazení do praxe nebyl ovšem proces jednoduchý a zabral slušnou řádku let. Dnes však již tento výborný materiál vstoupil natolik do vědomí odborníků, že se stal plnoprávným partnerem tradičních stavebních materiálů. Uvedeme dále několik hlavních zásad přípravy, zpracování a ošetření berolu a ukážeme jeho důležité vlastnosti a závislosti.

Technologická pravidla přípravy berolu

Proces tvrdnutí pojiva ve směsi je prováděn relativně prudkou exotermní reakcí monomeru použité pryskyřice po spojení s tužidlem. Tomu je třeba přizpůsobit postup a opatření výroby.)

Výchozím kritériem je nemožnost připravovat velké množství plastbetonu najednou (popřípadě do zásoby), což však není v rozporu s obvyklým užitím plastbetonu pro subtilní konstrukčně-izolační části, motivované zvláště ekonomickými hledisky.

Bercl se nejlépe mísí v míchačkách s nuceným pohybem, v hnětačích nebo ve speciálních kontinuálních mísicích zařízeních, které dodává např. firma Respecta (Düsseldorf, NSR). Do míchačky se přidává postupně plnivo - kyselinovzdorný štěrkopisek, nejlépe křemičitý, nebo drť z vyvěřelin (žula, diabas), mikroplnivo (nejlépe inertní křemenná moučka, neexpandovaný perlit, grafit apod., se zrnitostí na úrovni cementu), dále tužidlo na inertním jemném nosiči (např. křemenné moučce), po promíšení se přidá hlavní (aktivní) část pojiva v monomerním nebo částečně předkondenzovaném stavu (na bázi furolu) a po dalším promíchání urychlovač, reagující s monomerním (na bázi furalu). Po důkladném promíšení všech složek se získá sypká až plastická směs (podle poměru míšení složek), která se plní do forem, zpracovává obvyklými technikami a dá se v klidu vytvrdnout. Až sem se technologie výroby silně podobá výrobě betonu. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že kromě účinnějšího míšení je třeba zabránit jakémukoli styku směsi nebo jejích složek s vodou nebo s koncentrovanými vodními parami. Již malé procento vlhkosti např. v plnivu působí silné zpomalení tuhnutí, jak ukazuje obr. 1. Rovněž zvýšená vlhkost prostředí během tvrdnutí zpomaluje proces polykondenzace, ponoření do vody jej zcela zastavuje, jak ukazuje obr. 2.

Plnivo (např. štěrkopisek) má u plastbetonů a tedy i u berolu klíčový vliv na mnoho vlastností. Kromě obvyklých požadavků na pevnost a houževnatost, na vhodný tvar a povrch plniva je důležitá jeho chemická odolnost, u berolu kyselinovzdornost. Nejen předurčení berolu pro agresivní prostředí, ale i skutečnost, že tužidlo nezbytné pro tvorbu materiálu je silně kyselé, vylučuje použití plniva obsahujícího i malé procento uhličitánů. Vliv obsahu uhličitánů v plnivu ukazuje obr. 3. O vlivu vlhkosti jsem již hovořil.

U plastbetonů je možno vcelku dosáhnout vyrovnání pevnosti obou účastníků (plniva a pojiva), nikoli však jejich

stejně stlačitelnosti. Pojivo má vždy podstatně (řádově) menší modul pružnosti než šterkopísek: tím nastává nestejně-
noměrné rozdělování napětí soustředováním do míst méně
stlačitelných (s větším modulem pružnosti) a vznikají příč-
né tahy. Zde se příznivě uplatní jednak zvýšená pevnost
v tahu pojiva (proti cementovému kameni), jednak jeho zvý-
šené dotvarování (nebo relaxace), které poměrně rychle
umožní účelnou redistribuci napětí od smršťování.

U plastbetonů je vhodná granulometrie plniva důleži-
tější než u betonu cementového, zejména se zřetelem na spo-
třebu relativně drahého pojiva, ale i pro ovlivnění dalších
vlastností. Plnivo má mít minimální mezerovitost a minimál-
ní vnitřní povrch; je třeba pamatovat na dodání i nejjemněj-
ších složek (místo cementu) do soustavy. Vhodná je směs
s přerušovanou křivkou zrnitosti s dostatečně velkými pro-
dlevami, složená ze tří až čtyř (včetně mikroplniva) částí.
Správně volená zrnitost plniva při zachování nepropustnosti
výsledného materiálu sníží spotřebu pojiva až k poměru 12 : 1
(váž), sníží smrštění soustavy během tvrdnutí, sníží součini-
tel teplotní roztažnosti, zvýší pevnost, odolnost obrusu, mo-
dul pružnosti a objemovou hmotnost, sníží dotvarování a ztrá-
tu pevnosti při dlouhodobém mechanickém namáhání.

Základní charakteristikou, ovlivňující prioritně všech-
ny vlastnosti berolu, je poměr plniva a pojiva. Pro volbu
tohoto poměru je rozhodující kritérium propustnosti, jež je
ovšem závislé též na mezerovitosti plniva a na zpracování
směsi. Hranice mezi nepropustným a propustným berolem se po-
hybuje od poměru 8 : 1 do 12 : 1 (v závislosti na uvedených
parametrech), což odpovídá asi 250 až 190 kg pojiva na 1 m³
hotového plastbetonu.

Důležité je, aby berol byl úplně zpracován ještě před
začátkem tuhnutí; jakákoli manipulace s ním během tuhnutí
a tvrdnutí (jež se navenek projeví černáním směsi) je velmi
škodlivá, má za následek porušení vnitřních vazeb s důsled-

kem nejen snížení mechanických vlastností, ale zejména snížení nepropustnosti, chemické odolnosti a trvanlivosti.

Vlastnosti berolu současně ovlivňuje způsob a intenzita jeho zpracování, na něž se používají běžné techniky (dusání, vibrování, lisování). Vliv ztuhnutí dusáním na pevnost berolu je vidět na obr. 4. Rovněž ošetření berolu je nutno věnovat patřičnou péči: je třeba se postarat o co nejsušší (pod 50 % RV - viz výše uvedený obr. 2) a teplé (do 40 °C) prostředí. Jak vypadá průběh tvrdnutí berolu v ^{maximálním} ~~maximálním~~ prostředí (20 °C, 60 % RV) ukazuje v poměru k úplnému vytvrzení obr. 5. Úplné vytvrzení nastává během asi 3 dnů při teplotě 35 až 40 °C (jež je optimální). Vyšší teplota proces neurýchlí a výsledné pevnosti mírně snižuje stejně jako vytvrzování při zvýšené teplotě po delší dobu.

Mechanické vlastnosti berolu

Je-li v materiálu vytvořen skelet (agregát) pevných součástí (plniva), chová se materiál zcela odlišně od materiálu, ve kterém jsou pevné součásti pouze dispergovány v pojivu (matrix). Je-li plnivo dispergováno v pojivu, mluvíme o plněné plastické hmotě (plněném pojivu), jehož typickými představiteli jsou různé druhy stěrkových a licích podlahovin; je-li vytvořen souvislý skelet plniva, mluvíme o pojeném plnivu, což je např. plastbeton nebo plastmalta. Pro praktické použití ve stavebnictví nachází první skupina pouze menší uplatnění pro velice nepříznivé (a dlouhodobé) projevy dosud používaných plastických hmot (přesto se u nás např. podlahoviny tohoto systému silně rozšířily přes naprostou převahu praktických neúspěchů). Pro trvalé využití má význam pouze druhá skupina, kde nepříznivé vlastnosti užívaných (známých a vyráběných) plastických hmot jsou účinně potlačeny.

Obr. 6 ukazuje průběh konečných pevností berolu v tlaku a v tahu za ohybu spolu s jeho objemovou hmotností v závislosti na složení směsi. Současně jsou v obrázku pro srovnání uvedeny obdobné hodnoty epoxidového a polyesterového plastbetonu. O plastbetonu lze mluvit v daném případě (podle použitého plniva) od poměru asi 5 : 1. Je vidět, že berol má při poměru asi 10 : 1 v podstatě stejné pevnosti jako plastbetony s jiným pojivem a z hlediska pevnosti mnoho nezáleží na druhu použitého pojiva. Vysoké pevnosti systémů s jinými pojivy v oblasti směsí 5 : 1 jsou provázány tak nepřiznivými jinými vlastnostmi (vnitřní napjatost, smrštění), že jejich využití pozbývá smyslu. Pevnost berolu silně ovlivňují i podmínky okolního prostředí, zvláště má-li spojitou (otevřenou) pórovitost, jinými slovy, je-li propustný. Jak se mění pórovitost, je vidět z obr. 7. První oblast, odpovídající plněnému pojivu, zcela nepropustná, je v daném případě asi v rozmezí 0 : 1 až 5 : 1. Druhá oblast, přechodná, odpovídá již pojenému plnivu, ve které jsou všechny (nebo téměř všechny) mezery mezi plnivem vytvořeným agregátem vyplněny pojivem. Vznikající póry jsou lokální, nespojité, materiál je v převážné většině nepropustný. Třetí oblast je vyznačena vznikem kontinuálních pórů a je provázána propustností rostoucí s ubýváním pojiva (nad poměr 10 : 1).

Podle toho ovlivňuje pevnost vlhkost prostředí: v oblasti s nespojitou pórovitostí nemá vlhkost vliv, v oblasti se spojitou pórovitostí klesá v důsledku fyzikálního působení vody v pórech pevnost stejně, jako je to známo u jiných pórezních materiálů. Změnu pevnosti berolu vlivem vlhkosti ukazuje obr. 8.

Pevnost úplně vytvrzeného berolu se s časem v podstatě nemění, jak je vidět z obr. 9. Po malém počátečním snížení, jež je důsledkem vyrovnávání vnitřní napjatosti vzniklé polykondenzací furolo - furalového monomeru při tvrdnutí, zů-

stává pevnost v normálních podmínkách (na vzduchu) konstantní. Z obr. 9 je rovněž vidět, jak berol stejného složení, vytvrzovaný za normální teploty, má zpomalený vývoj pevnosti: stejné hodnoty jako berol vytvrzený při zvýšené teplotě dosahuje až po roce.

Při dlouhodobém mechanickém namáhání (zatížení) klesá trvalá pevnost berolu s časem a blíží se asymptoticky asi k 50 % krátkodobé pevnosti (obr. 10). Až do teploty 80 °C není změna pevnosti s časem ani velikost dotvarování (creepu) významně odlišná. Při 100 °C je již creep podstatně vyšší a dlouhodobá (trvalá) pevnost nižší. Podle toho lze tedy využívat berol při mechanickém namáhání plně asi do 80 °C; pokud není mechanicky namáhán, lze připustit trvalé teploty (např. kapaliny protékající berolovým potrubím) až 160 °C, krátkodobě i 200 °C.

Důležitou charakteristikou kromě pevnosti je pružnost, udávaná modulem pružnosti, který je rovněž silně závislý na složení směsi a v oblasti se spojitou pórovitostí i na vlhkosti. S větší vlhkostí v oblasti se spojitou pórovitostí (tj. od směsi asi 10 : 1) se modul pružnosti mírně zvětšuje proti hodnotám zjištěným u systému vysušeného. V obr. 11 je uveden průběh modulu pružnosti (při napětí asi 1/3 pevnosti) v průměrném prostředí (s vlhkostí kolem 50 % RV). V obrázku jsou uvedeny i hodnoty modulů pružnosti jiných plastbetonů.

Pro praktické aplikace je důležitá změna objemu, vznikající jako důsledek mechanického namáhání berolu. Tato změna je také závislá na teplotě prostředí, za které namáhání (a přetváření) probíhá. Obr. 12 dává představu o těchto objemových změnách (závislých na hodnotě Poissonova součinitele) při různých teplotách (v procentech původního objemu). Je jednoznačně vidět, že směsi z první oblasti (plněná poji-va) se nehodí pro jakékoli konstrukční využití, při němž vzniká mechanické namáhání při různých teplotách.

Fyzikální vlastnosti berolu

Pro představu o primární vnitřní napjatosti i pro praktickou použitelnost plastbetonů jsou důležité jejich objemové změny během tvrdnutí. Reakce tvrdnutí je vesměs exotermická. Od začátku polykondenzace nebo polymerizace vzniká v tělese teplo, které jednak urychluje další proces tvrdnutí, jednak způsobuje roztahování tělesa (zvětšování objemu). Současně se vznikem tuhých vazeb (makromolekulárních řetězců) nastává smršťování, zmenšování objemu. Výsledným jevem je, že od začátku tvrdnutí nastává nejdříve nabyvání, jehož přírůstek se zpomaluje, až vzniká opačný jev - smršťování. Závisí na složení směsi, na podmínkách okolního prostředí, hlavně na teplotě a nejvíce na volných teplotních kapacitách uvnitř těles i na jejich povrchu, jak rychle působí oba vlivy, kde jejich křížení způsobí změnu směrnice křivky délkové změny v čase a konečně jaký bude výsledný efekt proti prvotnímu stavu: zda zvětšení či zmenšení objemu.

Popsané objemové změny při tvrdnutí jsou příčinou vzniku extrémních vnitřních napětí ve struktuře, jež významně ovlivňují ostatní mechanické a fyzikální vlastnosti, jako pevnost a trvanlivost. Obr. 13 ukazuje typický průběh délkových změn během tvrdnutí berolu za zvýšené teploty (počínaje vložení do zvýšené teploty). Ukazuje se, že na výsledné délkové změny má převládající vliv složení směsi (poměr pojiva a plniva). Průběh délkových změn se ovšem podstatně liší při tvrdnutí za normální teploty v důsledku zcela odlišné vnitřní napjatosti systému v tomto případě. Konečné hodnoty smrštění, ovšem za daleko delší čas, budou o něco vyšší, než hodnoty při tepelném ošetření, které ukazuje obr. 14. Tyto hodnoty smrštění (od nejvíce roztahovaného stavu při vytvrzování za zvýšené teploty - viz obr. 13) jsou pro směsi nejčastěji frekventované (v okolí 1 : 10) kolem 1,5 % , což je proti betonu (asi 0,2 %) několikrát více, avšak jen asi 1/10 smrštění samé pryskyřice bez plniva.

Jiná měření (která jsou velice obtížná a jejichž hlavní závadou je nejistota zachyceného procenta celkového smrštění, tj. jaká část smrštění proběhla před začátkem měření) ukázala, že smrštění ostatních plastbetonů je přibližně totéž, v mezích 1 až 2 %. Smrštění plněného pojiva, tj. v první oblasti podle zavedeného rozdělení systému, je enormně vysoké, a dosahuje podle stupně plnění 0,5 až 1,5 %. Rovněž tato okolnost jednoznačně naznačuje nevýhodnost aplikace takových směsí ve velkých plochách a prakticky nezbytnost vzniku trhlin nebo odtržení od podkladu. Navíc praktické provádění podobných systémů (např. litých podlah, stěrek) vyžaduje ředění základní pryskyřice a dále rychlé vytvrdnutí.

Přídavek každého ředidla znamená však vždy kromě zhoršení všech vlastností výsledného materiálu (což vzhledem k vynikajícím základním vlastnostem příliš nevadí) podstatné zvýšení smrštění; ředidlem dosažené zlepšení zpracovatelnosti (jež by mohlo zdánlivě být pro výsledek příznivé) je tedy draze vykoupeno rozhodujícím zvýšením vnitřní napjatosti systému. Výjimku mohou v tomto smyslu tvořit jen ředidla, která se zavazují do struktury pojiva a stávají se tak jeho trvalou součástí. Rovněž urychlování vytvrdnutí má stejné nepříznivé důsledky: nemožnost relaxace vnitřních napětí a enormní vnitřní napjatost systému.

Pro konstrukční využití, zejména spolu s jinými stavebními materiály, je enormně důležitá velikost objemových změn zatvrdlého berolu vlivem změn teploty nebo vlhkosti.

Lineární součinitel tepelné roztažnosti závisí podstatně opět na složení berolu (poměru pojiva a plniva), jak ukazuje obr. 15. Prudké zvýšení součinitele teplotní roztažnosti nastává při přechodu do první oblasti, tedy do plněného pojiva. Pro kladné teploty je o něco vyšší než pro záporné teploty. Od hodnoty $5 \text{ až } 8 \cdot 10^{-5}$ u plněného pojiva v poměru 1 : 1

klesá tento součinitel k hodnotě 1,6 až $2,0 \cdot 10^{-5}$ pro obvyklé směsi 15 : 1 až 8 : 1; je tedy na úrovni cementového betonu (pro nějž se v literatuře uvádějí hodnoty v rozmezí 1,2 až $2,0 \cdot 10^{-5}$) a je menší než 1/5 téhož součinitele samé pryskyřice.

Na obr. 15 jsou pro porovnání uvedeny i hodnoty teplotních součinitelů pro jiné plastbetony. Jejich velikost se podstatně neliší. Malý rozdíl od teplotní roztažnosti berolu a betonu nebo oceli dává předpoklad k dobré spolupráci těchto materiálů při namáhání teplotou. Jednoznačná je však nevhodnost nátěru ze samé pryskyřice nebo nános plněné plastické hmoty (např. ve formě stěrky) na beton nebo na ocel pro téměř řádové rozdíly jejich součinitelů teplotní roztažnosti. Každá teplotní změna v takovém případě, zejména rychlá, kdy vrstva plněného pojiva nemá možnost relaxovat, musí nezbytně vést k tak velké vnitřní napjatosti, že vzniknou trhliny nebo odtržení od podkladu.

Významný je i vliv vlhkosti na materiál se spojitou pórovitostí. Objemové změny způsobené změnami vlhkosti rostou tím rychleji, čím větší je absolutní hodnota vlhkosti (zvláště nad 80 % RV) a vyšší teplota; rozhodující je tenze par. Součinitel vlhkostní roztažnosti je od nuly do $0,5 \cdot 10^{-5}$. Podle toho odpovídá změně vlhkosti o 60 % délková změna jako vlivem změny teploty asi 18°C (pro směsi se spojitou pórovitostí). U soustav se spojitou pórovitostí je tedy vliv změny vlhkosti rovnocenný běžné změně teploty. Obr. 16 ukazuje průběh tohoto součinitele u berolu a současně u jiných plastbetonů.

Stejnými pravidly se řídí i průběh nasákavosti (pórovitosti), odolnosti proti zmrazovacím cyklům a obecně trvanlivost (obr. 7 a 16). Jde-li o směs v první až ve druhé oblasti, nemá změna vnějších podmínek znatelný vliv na jakékoli vlastnosti berolu. Naopak ve třetí oblasti (v oblasti se spojitou pórovitostí) nastává při změně některých

vnějších podmínek v důsledku převážně fyzikálního působení kapalin v pórech materiálu i změna jeho vlastností, např. ubývání pevnosti s rostoucí vlhkostí, odolnosti proti mrazu apod.

Chemická odolnost berolu

Chemická odolnost berolu závisí, jak je nasnadě z předchozího výkladu, především na jeho složení, tj. na poměru pojiva a plniva. Chemická koroze je dále závislá na odolnosti samého pojiva, a do jisté míry i plniva proti příslušné látce. Fyzikální koroze a fyzikálněchemická koroze je výhradně závislá na existenci spojitě pórovitosti systému. Pousuzujeme-li nepropustný systém, tedy s nespojitou pórovitostí, nepřichází žádná fyzikální nebo fyzikálněchemická koroze v úvahu; materiál odolává činidlům způsobujícím tuto korozi (např. krystalizace soli, rozkládající mezifázový účinek) stejně jako mrazu bez omezení. Při chemické korozi je berol netečný i k působení silných kyselin a zásad, pokud nepůsobí oxidačně, dále odolává i vlivu většiny alifatických uhlovodíků.

Jiné vlastnosti berolu

Při praktickém použití je častým požadavkem dobrá přílnavost berolu na podklad. Pokud je podklad suchý (to je hlavní podmínka), nastává podle povahy povrchu více či méně kvalitní spojení; přílnavost k výztuži s obvykle povrchově zkorodovaným povrchem je zhruba stejná, jako cementového betonu. Při "pullout tests" byla zjištěna hodnota pevnosti v soudržnosti 12 až 18 kp na cm^2 podle druhu směsi a průměru použité výztuže. Dlouhodobé mikroskopické sledování výztuže uvnitř těles z berolu ukázalo, že koroze výztuže vlivem kyselých tužidel (z čehož byla jistá obava) při nepředávkování tužidla je tak minimální (maximálně 1/100 mm u průřezu 10 mm za rok), že nemůže být v žádném případě rozhodující pro životnost konstrukčního prvku.

Váženým a často rozhodujícím kritériem použitelnosti berolu je jeho přilnavost k betonu. Pokud jde o berol zhotovený na vytvrzený beton, může alkalická reakce betonu a kyselá povaha tužidlového systému berolu vést k jistým komplikacím. Je obvykle třeba před nanášením berolu neutralizovat povrch betonu (zejména zbavit jej volného vápna, vyplavovaného při betonáži na jeho povrch), popřípadě upravit jej mezivrstvou z některé alkalicky vytvrzované plastické hmoty (např. epoxidové pryskyřice) k zabezpečení pevnosti soudržnosti ve smyku přes 10 kp/cm^2 . Bez takové úpravy se hodnota pevnosti v soudržnosti ve smyku pohybuje okolo 5 kg/cm^2 . Vhodnou úpravou lze však zvýšit tuto hodnotu i na 25 kp/cm^2 .

Opačný případ, kdy je beton zhotovován na již vytvrzený berol, přináší menší potíže. Pokud nemá berol skelný povrch, (v důsledku vystoupení pryskyřice na povrch při zpracování předávkováním pryskyřice) dosahuje se hodnot pevnosti v soudržnosti (v čistém tahu) mezi 5 až 10 kp/cm^2 běžně, bez dalších úprav. Při potřebě vyšší soudržnosti lze jednoduchými úpravami povrchu (např. posyp čerstvého berolu křemílkem, nátěr epoxidovou pryskyřicí, uložení slabého pletiva do povrchové vrstvy apod.) zvýšit hodnotu soudržnosti dvojnásobně i více. O dobré spolupráci berolu s betonem se lze přesvědčit např. z obr. 17, kde kompozitní prvek berol-beton-berol byl podroben tlaku při stejné deformaci všech částí: porušení nastalo přes nepříznivé namáhání kontaktní epáry rozdrčením betonu ve střední části vzorku.

Soudržnost nového berolu, zhotoveného ke starému berolu, je po vytvrzení prakticky úplná, tj. porušení nenastane ve stykové spáře a spoj má (při zkoušce prostým tahem) v podstatě stejnou pevnost jako je pevnost v tahu berolu.

Pro potrubí a některé provozy s tvrdším provozem je důležitá odolnost proti obrusu. Výsledky zkoušek ukázaly, že



Obr. 17

odolnost berolu vůči obrusu ve směsi s poměrem 8 : 1 až 15 : 1 (tedy pro směsi nejčastěji používané) lze srovnat se žulou.

Stálost berolu při působení UV záření je omezena: nastává postupná degradace pryskyřice, v průběhu let ztráta vnitřní koheze a rozpad materiálu. Podstatné prodloužení životnosti poskytne v tomto směru po čase obnovovaný nátěr na stejné bázi ať už samou furolovou pryskyřicí nebo lépe

vhodným kopolymerem (např. s epoxidovou pryskyřicí). Představu o společném vlivu UV záření, agresivního plynného prostředí - chloroform, rozpouštědla, městského prostředí - a střídání teplot od $+70^{\circ}$ do -20°C a vlhkosti (včetně deště a sněhu) u směsi se spojitou pórovitostí ve složení 15 : 1 (tedy podle předchozího u směsi se sníženou odolností vůči fyzikálnímu působení vody) podává výsledek pětiletého experimentu - viz obr. 18. Je vidět, že ani společné, extrémně nepříznivé působení prostředí na berol nevhodného složení nepřivede náhlou, spontánní destrukci; postup rozpadu je pomalý, časem se neurychluje, spíše naopak; zkorodovaná povrchová vrstva zabráňuje další destrukci (degradaci) do hloubky.

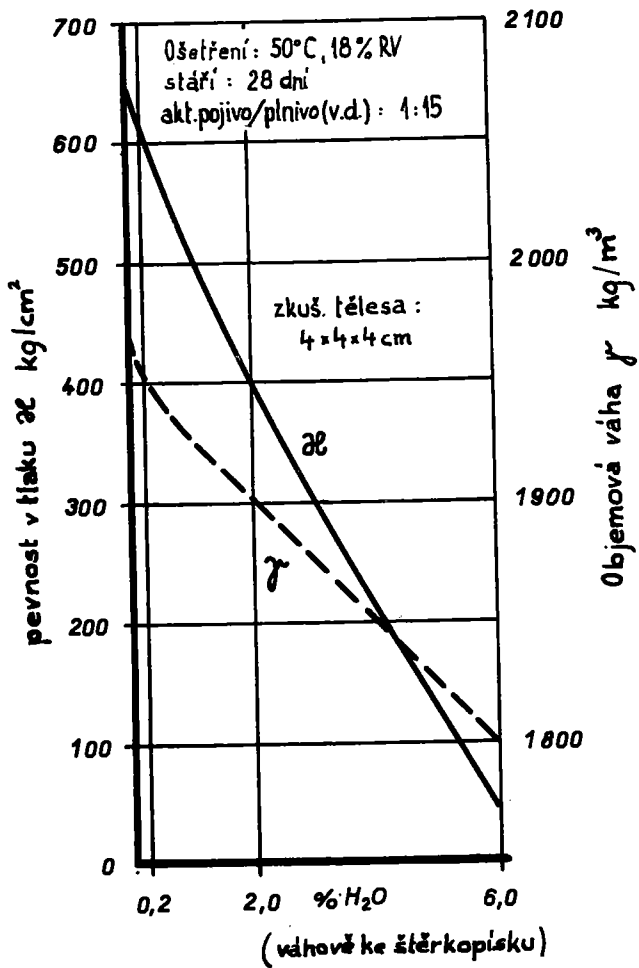
Laboratorní i provozní zkoušky dosud uskutečněné a vyhodnocené ukázaly, že berol vhodného složení je ve všech prostředích, které ho chemicky nenarušují, vysoce trvanlivý, nejvíce žádné známky porušení nebo snížení pevnosti ani po mnoha letech.

Použitelnost berolu

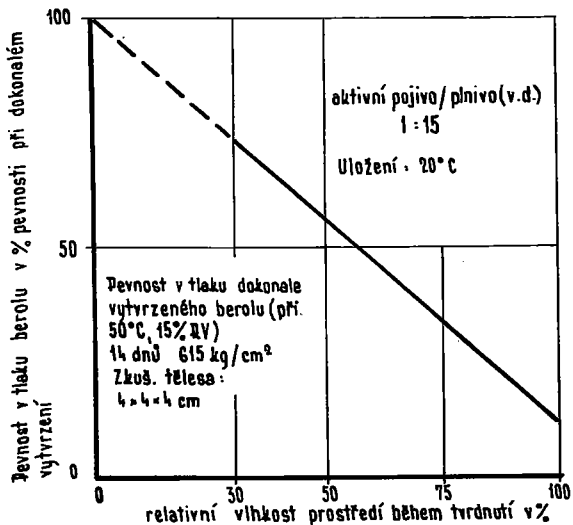
Předchozí popis některých vlastností berolu předurčuje jeho praktickou použitelnost: hodí se zejména tam, kde lze spojit konstrukční a izolační funkci. Výborná je aplikace potrubí různého druhu a velikosti (převážně větších průměrů, kde kameninové profily jsou již těžko dosažitelné, tj. nad 800 mm) pro transport různých kapalin, odpadních vod i silně agresivních a abrazivních, různě tepelných, pro nádrže na agresivní kapaliny nebo jejich vodotěsný obklad, podlahové a obkladové elementy v prostředích se silným chemickým i mechanickým namáháním (obrusem, pojížděním těžkými vozíky apod.) a další stavební prvky zejména v chemickém průmyslu. [Cenová relace, která je dosud vzhledem k neúměrně vysoké ceně výchozí pryskyřice dosti nepříznivá (1 m³ berolu stojí 10 000 až 12 000 Kčs), omezuje ovšem použití pouze na přípa-

dy, kde jiné řešení není nebo je příliš pracné apod. Celkové úspory proti tradičním technikám (se započtením zvýšené životnosti, snížené pracnosti, snížené spotřeby energie pro výrobu a důsledků plynoucích ze zkrácení výstavby) mohou však v některých případech i přes vysokou cenu berolu činit až 30 i více %.

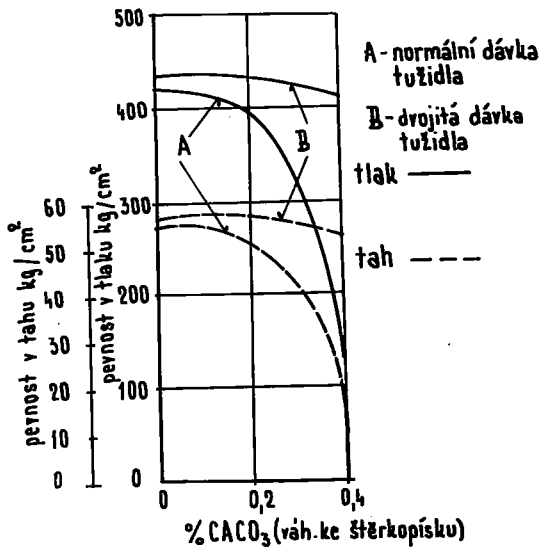
Závěrem lze říci, že berol není ani nechce být univerzální náhradou tradičních materiálů; jeho aplikace může však přinést ve speciálních případech značné výrobní, provozní, technické i ekonomické výhody.



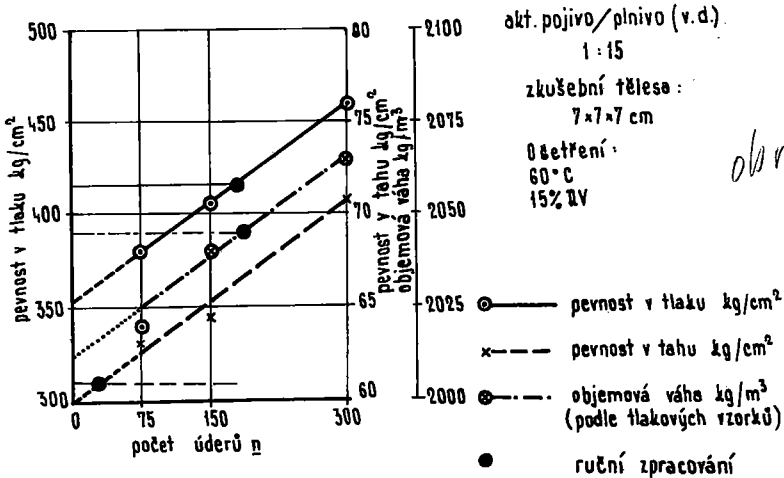
Obr. 1



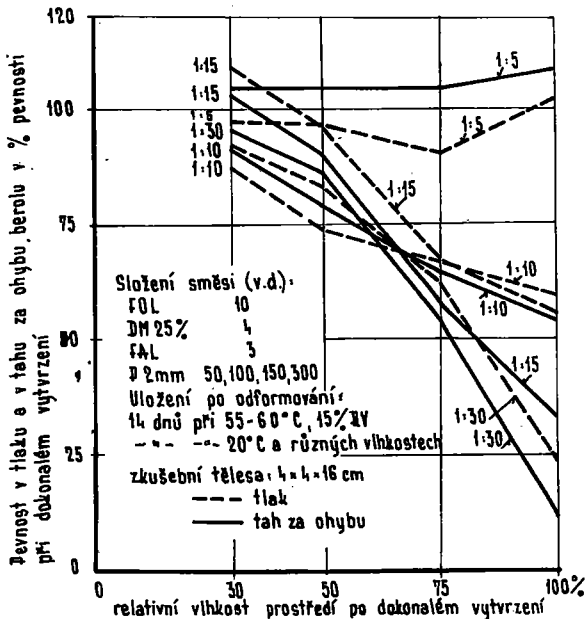
obr. 2



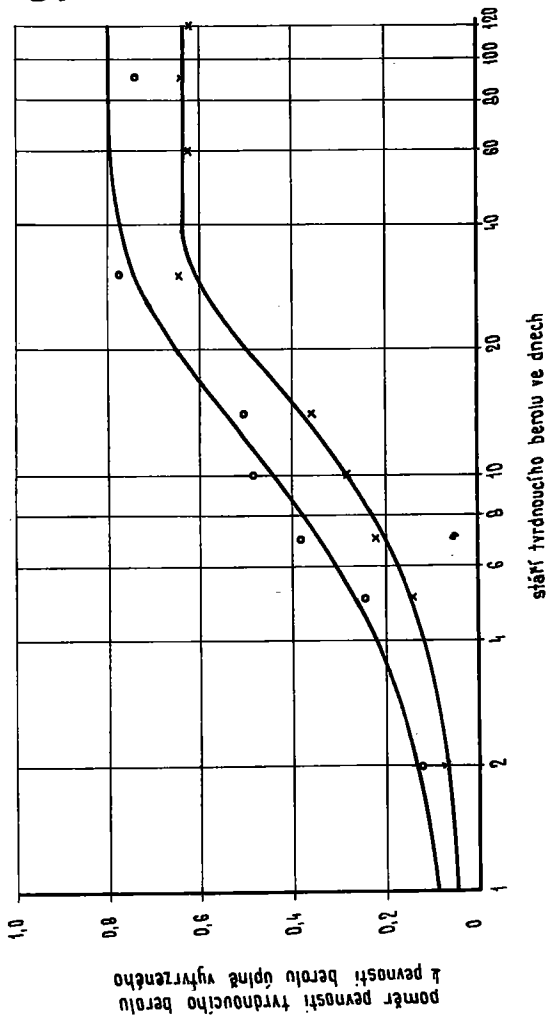
Obr. 3



Obr. 4



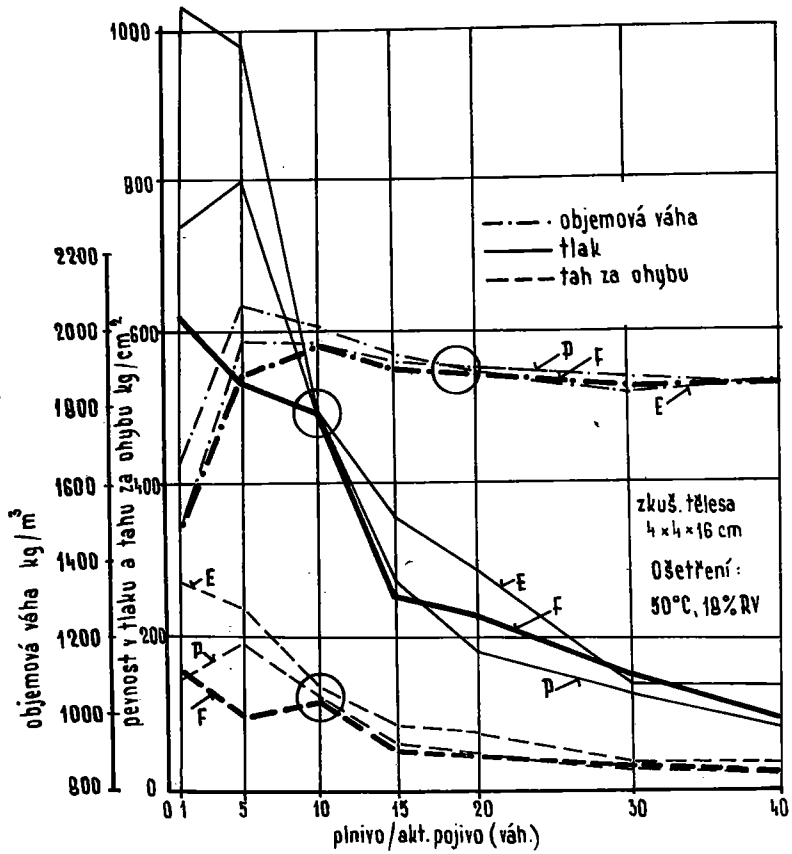
obr. 8



Ošetření :
20°C, 60% RH
zkuš. tělesa :
4 x 4 x 4 cm
akt. pojivo/pinivo (v.d.)
1 : 15

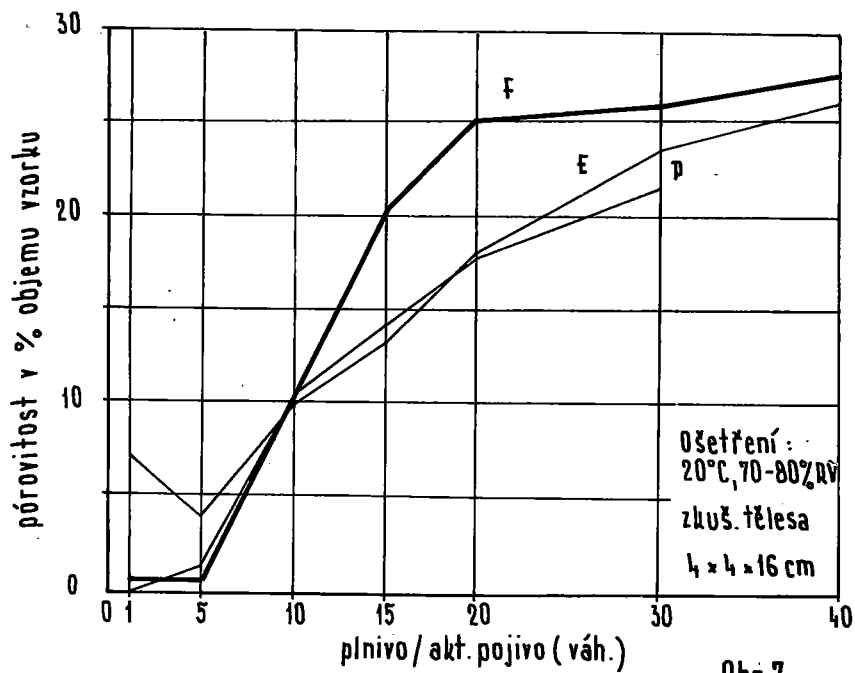
x pevnost v tlaku
o pevnost v tahu
za ohybu

Obr. 5

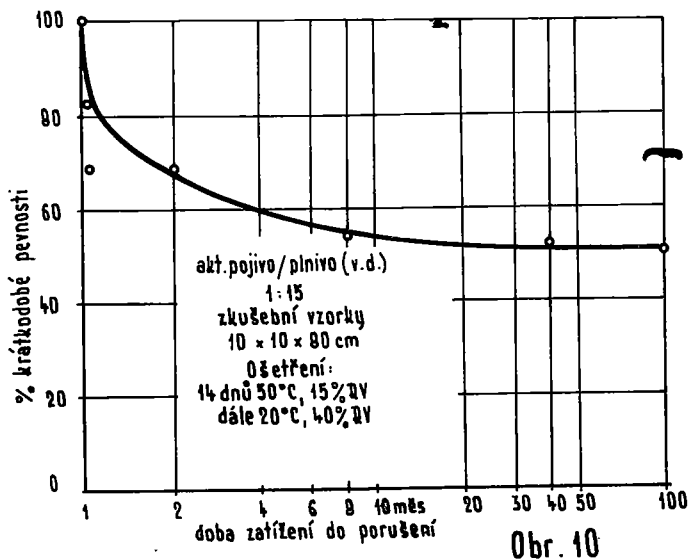


F - furol-furalový plastbeton
 E - epoxydový plastbeton
 P - polyesterový plastbeton

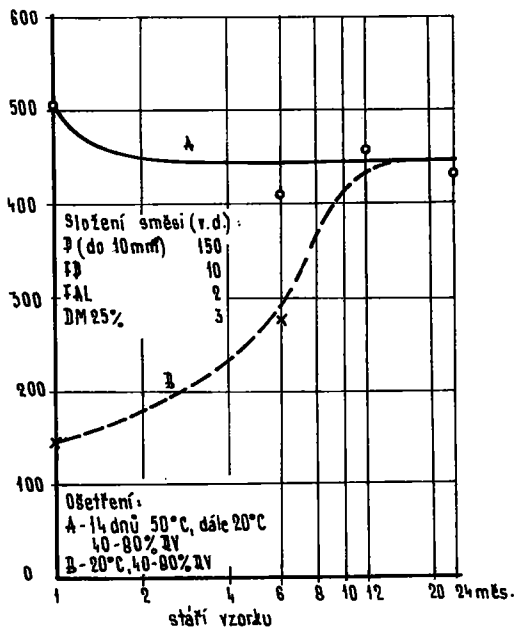
Obr. 6



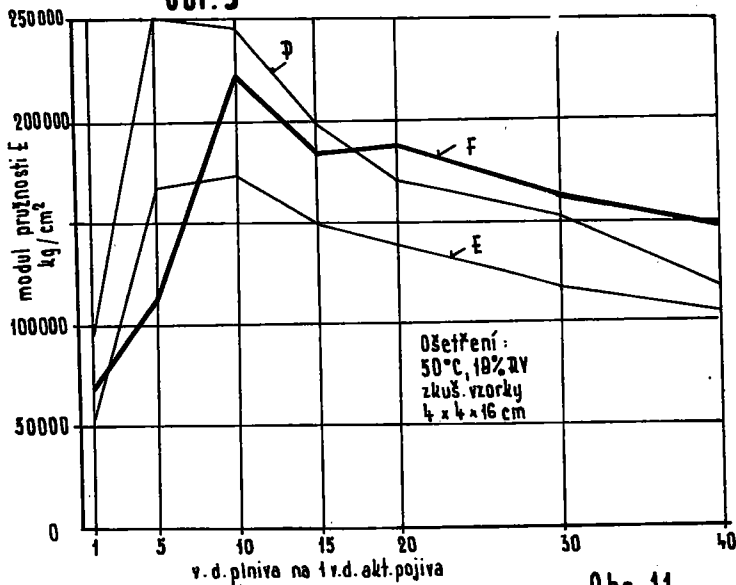
Obr. 7



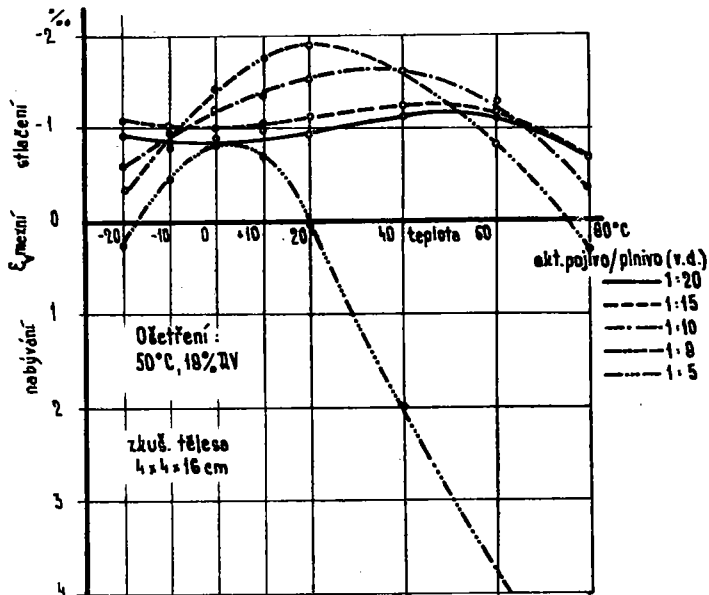
Obr. 10



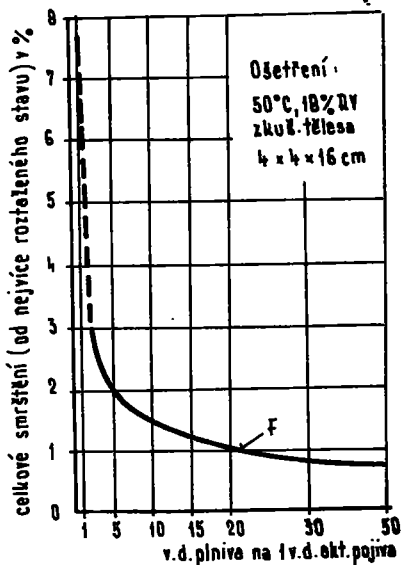
obr. 9



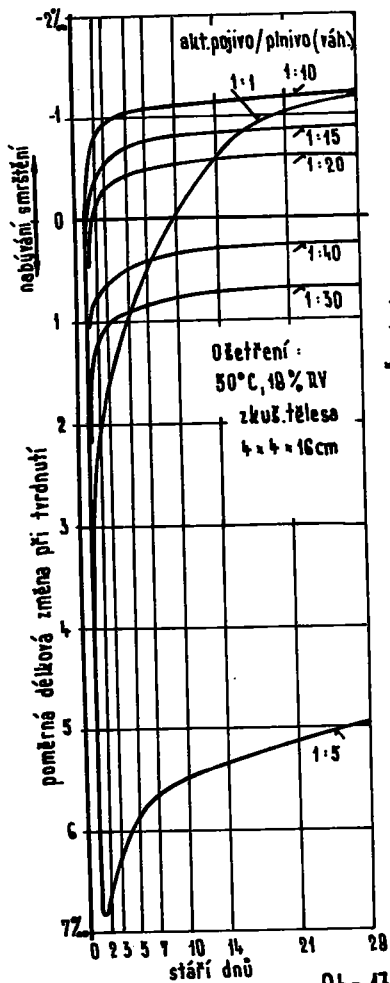
Obr. 11



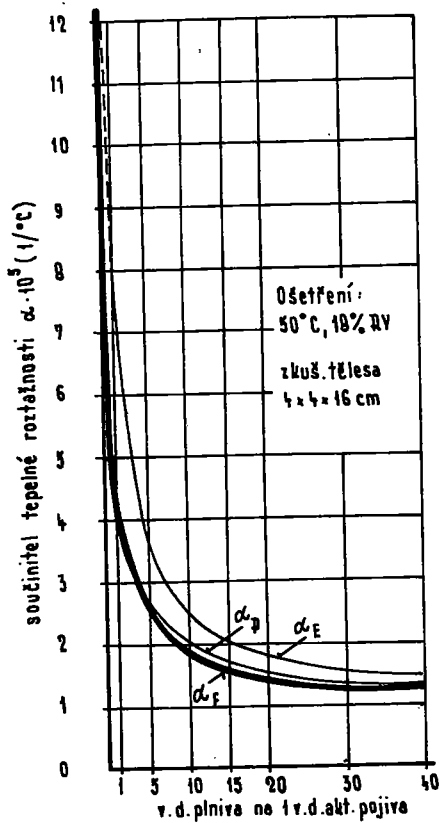
Obr. 12



Obr. 14



Obr. 13



Obr. 15

