

TEPELNĚ-VLHKOSTNÍ CHOVÁNÍ CEMENTOVÝCH LITÝCH POTĚRŮ

Jakub Hobza, Daniel Dobiáš, Karel Hurtig, Dita Frankeová, Robert Coufal

Cementové lité potěry jsou v podlahových souvrstvích stále častěji využívány v kombinaci s dřevěnou nášlapnou vrstvou, nicméně dosažení normových požadavků na zbytkovou hmotnostní vlhkost pro tuto kombinaci může být v podmínkách stavby poměrně složité. Článek se proto zabývá aktuální problematikou tepelně-vlhkostního chování a vysychání cementových litých potěrů jak z pohledu norem, tak optikou praxe. V článku je zároveň popsán experiment zaměřený na stanovení ustálené hmotnostní vlhkosti a vlivu teploty vysoušení.

THERMAL-HUMIDITY BEHAVIOUR OF CEMENT FLOATING SCREEDS

Cement floating screeds are more often used in combination with a wooden floor covering layer. However, achieving the standard requirements for residual mass moisture content for this combination can be difficult in construction conditions. This article therefore reviews the complex thermal-humidity behaviour and drying out of cement floating screeds. The article also describes an experiment to determine a stable moisture content and the effect of the drying temperature.

Se vzrůstajícím tlakem na rychlost výstavby se zvyšuje tlak na zkrácení technologické přestávky mezi položením roznášecí vrstvy podlahového souvrství a pokládkou nášlapné vrstvy, přičemž tato technologická přestávka je u litých potěrů nezbytná z pohledu vyschnutí roznášecí vrstvy a správného budoucího fungování podlahového souvrství. To byl hlavní impuls pro experiment, který se zabýval měřením zbytkové hmotnostní vlhkosti cementového litého potěru.

Měření vlhkosti z pohledu českých norem

Před položením nášlapné vrstvy podlahového souvrství je třeba změřit hodnotu zbytkové hmotnostní vlhkosti roznášecí vrstvy tvořené potěrem. Norma ČSN 74 4505 Podlahy – Společná ustanovení [1] uvádí, že se vlhkost stanovuje

sušením při zvýšené teplotě (gravimetricky) podle normy ČSN EN ISO 12570 [2]. Použití jiné metody je možné pouze v případě, pokud je prokázáno, že vede ke stejným výsledkům jako metoda dle výše zmíněné normy [2]. Norma [1] zároveň uvádí, že se materiály na bázi síranu vápenatého vysouší při teplotě $40 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, není zde ale jasně řečeno, při jaké teplotě by se měly vysoušet materiály na bázi cementu.

Norma [2] definuje postup stanovení zbytkové hmotnostní vlhkosti a zároveň uvádí teploty sušení (tab. 1 dle [2]). Protože není nikde přesně specifikována teplota sušení cementových litých potěrů, jsou tyto potěry běžně zařazovány do skupiny minerálních materiálů, které nemění svou strukturu ani při $105 \text{ }^\circ\text{C}$ (tab. 1). Otázkou zůstává, zda při této či jiné teplotě nedochází ke zkreslení výsledků a zda



1

Tab. 1 Teploty sušení dle [2]

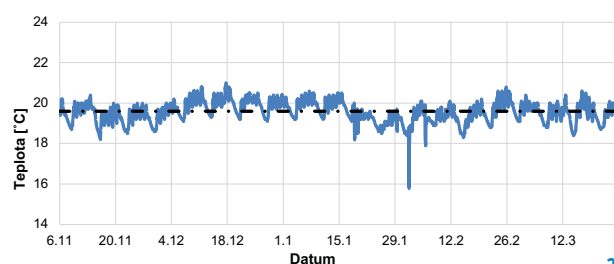
Tab. 1 Drying out temperature according to [2]

Materiál	Teplota sušení [°C]
materiály, které nemění svou strukturu při $105 \text{ }^\circ\text{C}$, např. některé minerální materiály, dřevo	105 ± 2
materiály, u kterých může dojít ke změně struktury mezi $70 \text{ }^\circ\text{C}$ a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, např. některé lehčené plasty	70 ± 2
materiály, u kterých může vyšší teplota vést k uvolňování krystalizační vody nebo ovlivnit nadouvací, např. sádra a některé pěny	40 ± 2

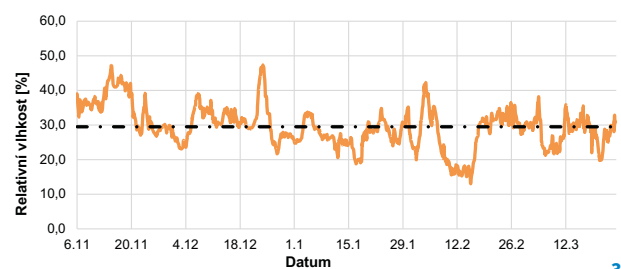
by neměla být teplota sušení cementových litých potěrů pevně stanovena.

Popis experimentu

Cílem experimentu bylo posoudit vliv teploty sušení na hodnoty zbytkové hmotnostní vlhkosti a zároveň stanovit ustálenou vlhkost potěru v definovaném prostředí. K tomuto účelu byly namíchány tři receptury (A, B a C) cementového litého potěru, které se od sebe odlišovaly typem a množstvím příměsí a přísad, tak aby vždy byla zachována srovnatelná zpracovatelnost a pevnostní charakteristiky. Pevnostní třída namíchaných potěrů byla CT-C25-F5. Vzorky s pořadovým číslem 1 byly převezeny do laboratoře společnosti SQZ, kde byly provedeny zkoušky pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu dle ČSN EN 13892-2 [3]. Vzorky s pořadovým číslem 2 až 5 byly převezeny do Kloknerova



2



3

va ústavu ČVUT v Praze (dále KÚ), kde byly následně provedeny tyto zkoušky:

- stanovení ustálené vlhkosti při přirozeném sušení v místnosti s měřenou teplotou a relativní vlhkostí vzduchu (grafy průběhů na obr. 2 a 3),
- stanovení vlhkosti sušením při teplotě 40, 70 a 105 °C,
- termická analýza (TG/DTG-MS) – provedena v laboratoři Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR.

Míchání probíhalo na maltárně společnosti TBG Pražské malty, která je vybavena kruhovou talířovou míchačkou. Objem záměsí byl 1 m³. Vzorky byly vyrobeny v podobě trámečků o rozměrech 40 × 40 × 160 mm. Výroba vzorků proběhla 15. října 2020, první dva dny byly vzorky uloženy ve formě, po odformování byly uloženy v prostorách maltárny v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu 95 ± 5 %, tak aby nedocházelo k jejich vysychání před začátkem měření v laboratoři. Dodání vzorků do laboratoře KÚ proběhlo 6. listopadu 2020. V KÚ byly vzorky uloženy v místnosti s měřenou teplotou vzduchu a relativní vlhkostí vzduchu, průběžně byly váženy a po dosažení ustálené hmotnosti byly vloženy do sušárny, kde byly následně vysušeny při různých teplotách. Vzorky pro měření pevnost-

ních charakteristik byly do laboratoře SQZ dodány 2. listopadu 2020, kde byly uloženy v souladu s normou ČSN EN 13892-1 [4] až do doby zkoušení.

Stanovení ustálené vlhkosti

Jak již bylo zmíněno, vzorky pro stanovení přirozené vlhkosti byly uloženy v KÚ v prostorách s měřenou vlhkostí a teplotou vzduchu. Obr. 2 a 3 znázorňuje grafy průběhu teploty a relativní vlhkosti vzduchu po dobu měření. Průměrná teplota prostředí byla 19,6 °C a průměrná relativní vlhkost 29,5 %. Měření hmotnosti při přirozeném vysychání vzorků probíhalo po dobu 140 dnů až do doby, kdy hmotnost vzorků pouze reagovala na drobné změny relativní vlhkosti vzduchu v laboratoři (graf na obr. 4).

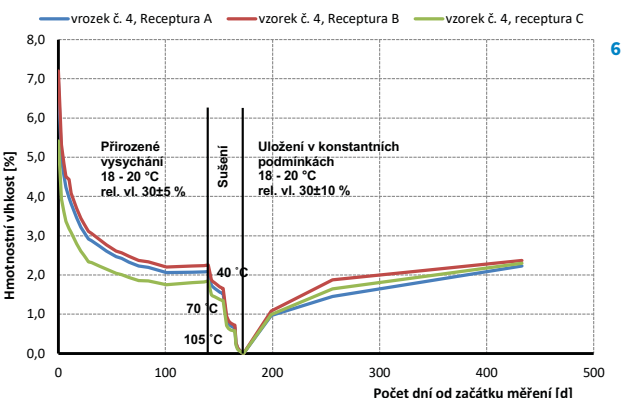
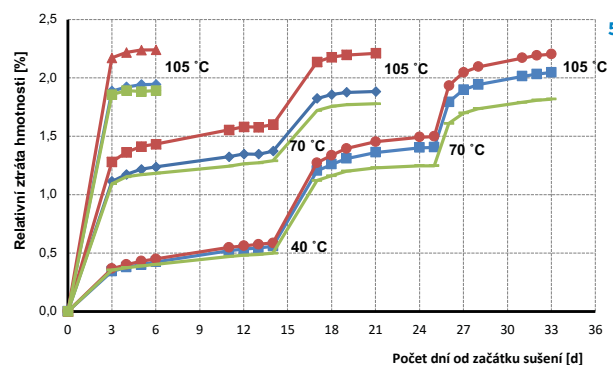
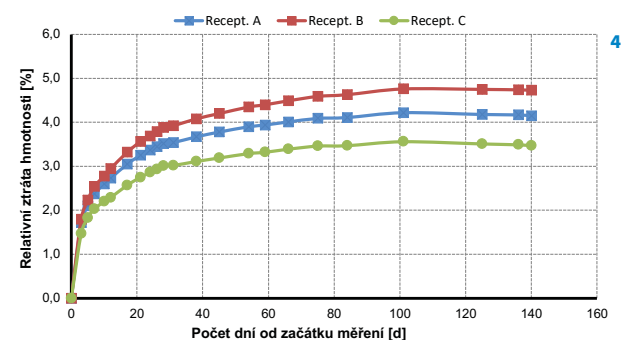
Po ukončení sledování přirozeného vysychání (nebyla pozorována výrazná změna hmotnosti) byly tři vzorky od každé receptury vloženy do sušárny a vysušeny dle ČSN EN ISO 12570 [2]. Vzorky č. 2 byly vysušeny při teplotě 105 °C, vzorky č. 3 byly vysušeny při teplotě 70 °C do ustálené hmotnosti a následně byla teplota zvýšena na 105 °C, vzorky č. 4 byly sušeny při teplotě 40 °C do ustálené hmotnosti, následně byla zvýšena teplota na 70 °C

do ustálené hmotnosti a nakonec byla teplota zvýšena na 105 °C. Obr. 5 znázorňuje vysychání vzorků č. 2, 3 a 4 receptur A, B a C.

Z grafu na obr. 5 je patrné, že naměřená vlhkost cementového litého potěru závisí hlavně na teplotě sušení a dále také na teplotě a relativní vlhkosti prostředí, ve kterém je potěr uložen. Z grafu dále vidíme, že přirozená zbytková hmotnostní vlhkost všech tří receptur v prostředí s teplotou přibližně 20 °C a relativní vlhkostí vzduchu 30 % odpovídá:

- cca 0,5 % při vysoušení na 40 °C,
- 1,25 až 1,6 % při vysoušení na 70 °C,
- 1,8 až 2,2 % při vysoušení na 105 °C.

Otázkou zůstává, proč při vysoušení na 70 °C a dále pak na 105 °C naměříme výrazně vyšší zbytkovou hmotnostní vlhkost než při vysoušení na 40 °C. Tedy z jaké části se jedná o vlhkost v kapilárních pórech potěru, která se z potěru uvolňuje při vyšších teplotách (nad 40 °C), a z jaké části se jedná o uvolňování chemicky vázané vody kvůli rozkladu C-S-H gelu (při teplotách nad 80 °C). Po vysoušení byly vzorky uschovány v prostorách s převážně konstantními podmínkami prostředí, tak aby bylo možné sledovat změnu hmotnosti s delším časovým odstupem. Graf na



1 Pokládka cementového litého potěru 2 Průběh teploty v místě uložení vzorků 3 Průběh relativní vlhkosti v místě uložení vzorků 4 Relativní ztráta hmotnosti při přirozeném vysychání 5 Relativní ztráta hmotnosti při sušení na 40, 70 a 105 °C 6 Celkový průběh zbytkové hmotnostní vlhkosti vzorků č. 4

1 Laying of a cement floating screed 2 Development of temperature in the storage area of the test samples 3 Development of relative humidity in the storage area of the test samples 4 Relative loss of mass during natural drying out 5 Relative loss of mass during drying up to 40, 70 and 105 °C 6 Complete development of residual moisture mass of samples No. 4

Tab. 2 Nejvyšší dovolená vlhkost cementového potěru [hm. %] v době pokládky nášlapné vrstvy dle [1]

Tab. 2 The maximum permitted residual moisture content of a cement screed [wt. %] at the time of laying of the floor covering layer according to [1]

Nášlapná vrstva	Nejvyšší dovolená vlhkost cementového potěru [hm. %]	
	Cementový potěr	
	nevytápěný	vytápěný
kamenná nebo keramická dlažba	5,0	4,5
lité podlahy na bázi cementu	5,0	4,5
syntetické lité podlahoviny	4,0	3,5
paropropustná textilie	5,0	4,5
PVC, linoleum, guma, korek	3,5	3,0
dřevěné podlahy, parkety, laminátové podlahoviny	2,5	2,0

obr. 6 znázorňuje celé sledování zbytkové hmotnostní vlhkosti vzorků č. 4. Zajímavé je, že po plném vysušení vzorků na 105 °C se hmotnostní vlhkost vrátila po cca 250 dnech na hodnotu 2,2 % pro recepturu A, 2,4 % pro recepturu B a 2,3 % pro recepturu C. Vzorky byly po vysušení uloženy v prostorách s relativní vlhkostí vzduchu okolo 30 % a teplotou okolo 18 °C.

Diskuze výsledků z pohledu pokládky nášlapné vrstvy

Nejvyšší dovolená vlhkost cementových potěrů v hmotnostních procentech před pokládkou nášlapné vrstvy je stanovena v normě ČSN 74 4505 [1] a shrnuje ji tab. 2. Nejpřísnější požadavek na zbytkovou vlhkost je stanoven u dřevěných podlah v kombinaci s podlahovým vytápěním (2 % hm.), z grafu na obr. 6 také vidíme, že pod tuto hodnotu se lze dostat pouze nuceným vysoušením potěru a neustálou výměnnou vzduchu. Na stavbě ale těžko nalezneme takovéto podmínky. Maximální teplota vody podlahového

topení na vstupu je pro cementový litý potěr dle technických listů společnosti TBG Pražské malty [5] 40 °C, přičemž běžná relativní vlhkost na stavbě je okolo 50 %, což je výrazně více než v experimentu.

Obecně lze říci, že vytápěný potěr v podlahové konstrukci nelze za výše popsaných podmínek (teplota vody na vstupu 40 °C) vysušit pod 1,5 % hmotnostní vlhkosti (stanoveno gravimetricky při 105 °C) a že po ukončení vytápění absorbuje potěr vlhkost zpět. Dále je třeba si uvědomit, že v experimentu byl použit jako vzorek trámeček o rozměrech 40 × 40 × 160 mm, který mohl vysychat všemi stranami. Roznášecí vrstva v podlahovém souvrství však zpravidla dosahuje tloušťek okolo 50 mm a má možnost vysychat jen horním povrchem, doba vysychání se tedy násobně protahuje. Ze zkušeností víme, že dosáhnout u cementových litých potěrů zbytkové hmotnostní vlhkosti pod 2 % (stanoveno gravimetricky při 105 °C) je ve stavebních podmínkách velmi složité, časově velmi zdouhavé a často

až nereálné. Je tedy opravdu nutné stanovovat vlhkost cementových potěrů gravimetrickou metodou v podmínkách, které nemohou nikdy nastat (105 °C)? Nebylo by logičtější stanovovat hm. vlhkost potěru při 40 °C, což je maximální teplota vody podlahového vytápění, tedy podobně jako u anhydritových potěrů?

Termická analýza (TG/DTG-MS)

Za účelem zjištění průběhu uvolňování vlhkosti ze vzorků cementového potěru byly vzorky s pořadovým č. 5 podrobeny termické analýze, což je metoda, při níž se sledují některé fyzikální vlastnosti zkoumané látky v závislosti na čase nebo na teplotě. V případě TG (termogravimetrie) se měří změna hmotnosti vzorku jako funkce stoupající nebo klesající teploty. Analýza uvolňovaných plynů při zahřívání byla provedena pomocí hmotnostního spektrometru (MS). Vzorky byly vytvořeny tak, že byl z každého středu trámečku oddělen celistvý kus potěru, který byl následně nardrcen a proset přes síto s velikostí oka

Tab. 3 Výsledky termogravimetrické analýzy

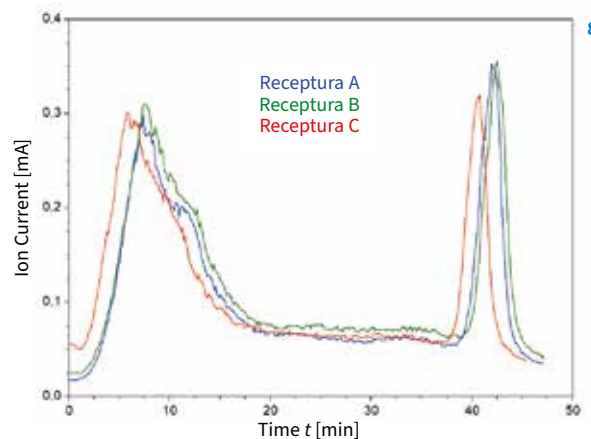
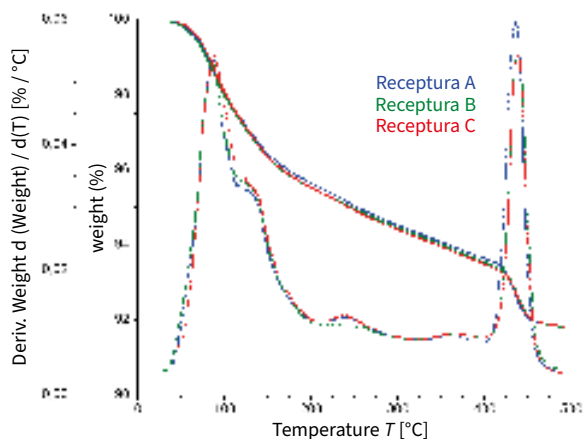
Tab. 3 Results of the thermogravimetric analysis

Teplotní intervaly [°C]	Hmotnostní úbytek [% hm.]		
	40–200	200–400	400–500
receptura A	4,32	2,01	1,81
receptura B	4,46	1,97	1,74
receptura C	4,40	2,06	1,64

7 Porovnání TG a DTG křivek pro všechny zkoušené receptury **8** Porovnání MS křivek signálu H₂O **9** Čerpání cementového litého potěru **10** Pokládka cementového litého potěru

7 Comparison of TG and DTG diagrams for all the mix designs tested

8 Comparison of MS diagrams of the H₂O signal **9** Pumping of the cement floating screeds **10** Placing of the cement floating screeds





9



10

0,063 mm. Měření probíhalo v rozmezí teplot 25 až 500 °C. Pro analýzu bylo naváženo 30 až 40 mg vzorku, spalování probíhalo v N₂ atmosféře rychlostí ohřevu 5 °C/min. Výsledky jsou uvedeny v tab. 3 a na obr. 7 a 8.

Průběh TG a DTG křivek (obr. 7) i hmotnostní úbytky v jednotlivých teplotních intervalech (tab. 3) jsou u všech tří vzorků velmi podobné, což naznačuje, že se obsah vody i minerologické složení vzorků téměř shodují. Největší hmotnostní úbytek při zahřívání byl u všech vzorků zaznamenán v teplotním intervalu 40 až 200 °C, kdy dochází k dehydrataci C-S-H gelu a příp. k úniku fyzikálně vázané vody. V následujícím intervalu teplot, tj. od 200 do 500 °C, je uvolňována chemicky vázaná voda z dalších sloučenin, přičemž nejvýraznějším dějem je rozklad Ca(OH)₂, který se na DTG křivkách projevuje pásem s maximem při 450 °C. Naměřené MS křivky uvolněné H₂O (obr. 8) v podstatě kopírují tvar DTG křivek, z čehož vyplývá, že hlavním důvodem úbytku hmotnosti

je úbytek vody. V oblasti 200 až 400 °C k hmotnostnímu úbytku nepatrně přispívá i uvolňující se CO₂, pravděpodobně jako důsledek hoření organické látky, intenzita jeho signálu je však asi 20× nižší než intenzita signálu vody.

Závěr

Cílem experimentu bylo prozkoumat tepelně-vlhkostní chování cementových litých potěrů a porovnat vliv teploty vysoušení na výsledky zbytkové hmotnostní vlhkosti. Z provedených zkoušek následně vyplývají tyto závěry:

- ustálená hmotnostní vlhkost cementových litých potěrů se v běžných podmínkách stavby bez usilovného a zdlouhavého vysoušení nedostane pod 2 % (stanoveno gravimetricky při 105 °C),
- gravimetrické stanovení vlhkosti potěru je výrazně závislé na zvolené teplotě sušení,
- při maximální vstupní teplotě vody podlahového topení (40 °C) lze potěr vysušit pouze na hodnotu zbytkové hm. vlhkosti 1,5 % (stanoveno gravimetricky při 105 °C), a to v případě ideálních podmínek, kterých lze na stavbě těžko dosáhnout (výměna vzduchu, obroušený povrch),
- po ukončení sušení se zbytková hm. vlhkost potěru vrací na hodnotu ustálené vlhkosti pro dané podmínky,
- termickou analýzou bylo zjištěno, že v rozmezí teplot 20–400 °C se z potěru uvolňuje převážně volná a chemicky vázaná voda,
- vhodná teplota sušení pro stanovení hm. vlhkosti cementových litých

potěrů gravimetrickou metodou se jeví 40 °C.

Jak z výsledků experimentu, tak z dlouhodobých zkušeností se ukazuje, že dosáhnout požadavku na zbytkovou hm. vlhkost cementového potěru dle [1] pro dřevěné podlahy a parkety vyžaduje čas a vytvoření velmi dobrých podmínek pro vysychání. Jako řešení pro urychlení pokládky dřevěné nášlapné vrstvy lze použít uzavírací nátěr, který ovšem prodražuje stavbu. Bylo by proto prospěšné prozkoumat, zda požadavek na zbytkovou hm. vlhkost cementových potěrů dle [1] pro dřevěné podlahy a parkety není zbytečně přísný, příp. zda teplota vysoušení 105 °C není nepřiměřená, protože nemůže v běžných podmínkách v podlahové konstrukci nastat.



Ing. Jakub Hobza
TBG METROSTAV s.r.o.
TBG Pražské malty, s.r.o.
jakub.hobza@tbg-beton.cz



Ing. Daniel Dobiáš, Ph.D.
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
daniel.dobias@cvut.cz



Ing. Karel Hurtig
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
karel.hurtig@cvut.cz



Mgr. Dita Frankeová
Ústav teoretické a aplikované
mechaniky AV ČR, v. v. i.
frankeova@itam.cas.cz



Ing. Robert Coufal, Ph.D.
TBG METROSTAV s.r.o.
TBG Pražské malty, s.r.o.
robert.coufal@tbg-beton.cz

Článek byl posouzen odborným lektorem.
The article was reviewed.

Literatura:

- [1] ČSN 74 4505. Podlahy – společná ustanovení. ICS 91.060.30. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [2] ČSN EN ISO 12570. Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě. ICS 91.100.01. Praha: ČNI, 2001.
- [3] ČSN EN 13892-2. Zkušební metody potěrových materiálů – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku. ICS 91.100.10. Praha: ČNI, 2003.
- [4] ČSN EN 13892-1. Zkušební metody potěrových materiálů – Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování zkušebních těles. ICS 91.100.10. Praha: ČNI, 2003.
- [5] Technické listy značkových produktů [online]. Verze 02/2020. TBG Pražské malty, s.r.o. [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: tbg-metrostav.cz/wp-content/uploads/technicke-listy-2020-tbg-pm.pdf