

Ídráttarrör úr plasti- verksmiðjuframleiddur grautur Rannsóknarverkefni



Gylfi Sigurðsson



Mars 2016

Efnisyfirlit

1	Inngangur.....	1
1.0	Formáli.....	1
1.1	Forsaga.....	3
1.2	Marglaga þétting	5
1.3	Umhverfisaðstæður hér á landi.....	6
2	Ídráttarrör úr plasti (e: polymer)	7
2.0	Almennt.....	7
2.1	Aðferðafræði við val varnarstigs kapla.....	8
2.2	Áreitistig umhverfisins	9
2.3	Mat á vörnum burðarvirkisins	10
2.4	Val varnarstigs fyrir kapla	13
2.5	Val varnastigs kapla í Sviss.....	17
2.6	Dæmi um samanburð á eiginleikum, þreyta.....	20
2.7	Tækniröfur, prófanir, rannsóknir.....	21
2.8	Til athugunar fyrir uppsetning og notkun.....	24
2.8.1	Fyrir uppsetningu	24
2.8.2	Ræsifundur	24
2.8.3	Framsal vinnu frá sérhæfðum PT verktaka.....	25
2.8.4	Flutningur og geymsla.....	25
2.8.5	Fjarlægð milli stóla	25
2.8.6	Steypuvinna	26
2.9	Kostnaður.....	27
3	Lausnir tveggja framleiðenda.....	29
3.0	Almennt.....	29
3.1	Lausnir frá BBR - Stahlton AB:	29
3.2	Lausnir frá VSL:	31
3.3	Nokkur myndræn dæmi um lausnir:.....	32
4.	Grautur.....	37
4.1	Þróun frá „venjulegum“ graut yfir í „sérstakan graut“	37
5	Tillaga til umræðu.....	40
6	Lokaorð.....	40
	Tilvísanir:	41



1 Inngangur

1.0 Formáli

Á árinu 2014 var sótt um styrk til Rannsóknarsjóðs Vegagerðarinnar til þess að skoða hver framþróunin hefði verið í gerð og notkun ídráttarröra úr plasti fyrir eftirspennna kapla. Rannsóknarverkefnið fékk nafnið; **Ídráttarrör úr riffluðu plasti fyrir spennikapla**. Helsta niðurstaðan var annars vegar að veigamikil rök væru fyrir innleiðingu þeirra í steinsteyptar, eftirspennnar brýr Vegagerðarinnar og hins vegar að nota graut framleiddan við bestu aðstæður í verksmiðju til ídælingar í ídráttarrörin og fækka þannig áhættuþáttum.

Þessi niðurstaða leiddi til þess, að sótt var aftur nú í ár, 2015, um styrk úr Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar til verkefnis í framhaldi af hinu fyrra með heitinu; **Ídráttarrör úr plasti – verksmiðjuframeiddur grautur** og í greinargerðinni segir m.a.:

„Vegagerðin hefur notað ídráttarrör úr stáli í gegnum tíðina. Það er ekki vitað um að kaplar hafi tærst inni í þeim, enda ekki auðvelt að ganga úr skugga um það. Inndreipingardýpt salts inn í steypu hefur verið rannsökuð, en niðurstaðan segir ekki til um það hvort salt hafi komist að ídráttarrörunum um sprungur. Venjan er að ídráttarrör úr stáli séu sett saman með límbandi....

og

Skv. þeim heimildum sem skoðaðar voru í fyrra verkefninu bjóða framleiðendur ídráttarröra úr plasti upp á sérstaklega hannaðar samsetningar röranna sem og tengingar loftröra ofan á ídráttarrörin. Rörin eru síðan þrýstiprófuð fyrir 0,1 bara (10kPA) loftþrýsting. Kerfi ídráttarröra úr plasti virðist því eiga að geta verið alveg þétt og virkað sem viðbótar þéttilag.“

Hugmyndin var að skoða þetta nánar, afla sýnishorna, upplýsinga um tæknilega eiginleika röra og verksmiðjuframeidds grautar og leiðbeininga um alla meðferð og notkun.

Veðrun er mikil á Íslandi. Umhverfið er einnig tærandi. Salt berst með veðri og vindum. Vegir eru saltaðir vegna hálfu. Kröfur vaxa stöðugt um auknar hálkuvarnir, bæði í þéttbýli og dreifbýli, með vaxandi umferð og mikilvægi greiðra og traustra samganga.

Skv. viðauka í **fib Bulletin 33³⁾** (Bulletin er samheiti tæknibóka, sem fib (International Federation for Structural Concrete) gefur út) og fjallað er nánar um í gr. 1.1 veitir engin tilgreindra skaðlausra (e: nondestructive) aðferða fullkomið mat á ástandi kapla og skv. viðauka í **ASTRA 12010¹³⁾** sjá gr. 2.5 er ekki unnt að meta tæringarástand spennistáls í málmrörum. Hugsanlegt er að aðferðafræðin hafi þróast síðan þetta var sett fram, en ekki er unnt að komast hjá því að draga þá ályktun af framansögðu, að mat á ástandi kapla í málmrörum sé a.m.k. takmörkunum háð og því ákveðin óvissa varðandi ástand og endingu þeirra. Leitað hefur verið leiða, annars vegar til að minnka líkur á göllum og tryggja þannig lengri endingu og hins vegar til þess að þróa skaðlausar aðferðir til þess að unnt sé að fylgjast annað hvort stöðugt eða reglubundið með ástandi kapla á hverjum tíma og bregðast við, ef frávika verður vart.

Riffluð ídráttarrör úr plasti hafa verið notuð síðan 1968 skv. **gr.1 í fib Bulletin 7¹⁾** og **gr. 1.1 í fib Bulletin 75²⁾** og byrjað var að nota gerð þeirra með þykkari veggjum um 1990. Þessi fyrsta gerð ídráttarröra reyndist verja rörin afar vel, en göt fundust í nokkrum þeirra sem leiddi til tæringar kaplanna, sem varð á hinn bóginn til þess að veggþykktin var aukin 1990.



Upplýsingar um prófanir og skilgreiningar eiginleika ídráttarröra úr plasti voru settar fram í [fib Bulletin 7^{1\)}](#) árið 2000, sem var uppfærð í [fib Bulletin 75^{2\)}](#) 2014 með mun ítarlegri upplýsingum og leiðbeiningum fyrir söluaðila, brúaeigendur og tæknimenn varðandi efnisþætti, framleiðslu, prófanir, uppsetningu á verkstað o.m.fl. [Fib Bulletin 75^{2\)}](#) kemur ekki aðeins í stað [fib Bulletin 7^{1\)}](#) heldur inniheldur mun ítarlegri upplýsingar og reynslu síðustu 20 ára.

Alls unnu 23 fjölþjóðlegir menn að gerð [fib Bulletin 75^{2\)}](#), einn stjórnandi, 17 þátttakendur í verkefnishópnum (e: taks group), 5 í samskipta hópi. Það kemur e.t.v. á óvart að af þessum 23 mönnum voru 5 Svisslendingar og enginn frá Norðurlöndum.

Nokkrum árum eftir útgáfu [fib Bulletin 7^{1\)}](#) eða árið 2006 gaf fib út bókina [fib Bulletin 33^{3\)}](#), sem fjallar um endingu eftirspennta kapla, þar sem m.a. er sett fram aðferðafræði um hvernig velja megi kapalkápuna, þ.e. ídráttarrörin.

Frábrigði eru enn mikil milli framleiðenda / notenda varðandi efniseiginleika, rúmfræðileg deili, samsetningar og notkun á staðnum skv. [gr. 3.1.7 í fib Bulletin 75^{2\)}](#), þannig að skoðun verkefnishópsins (e: task group) er að þau eigi að vera háð kerfissamþykki (e: system approval) enn um sinn.

Fjallað er um ídráttarrör úr plasti (e: polymer) í breskri þjóðarsérlyingu (e: national specifications), [TR No. 47^{4\)}](#) (1996), sem var uppfærð í [TR 72^{5\)}](#) (2010). Eftir útgáfu [TR No 47^{4\)}](#) og [fib Bulletin 33^{3\)}](#) 2006, sem fjalla báðar m.a. um endingu eftirspenntar virkja, innleiddi fjöldi brúaeigenda þessa eða sambærilega aðferðafræði hjá sér til varnar köplum skv. [gr. 1.1 í fib Bulletin 75^{2\)}](#).

Um kerfi til notkunar í eftirspennt virki innan Evrópusambandsins og þá væntanlega einnig innan Evrópska Efnahagssvæðisins gilda European Technical Approval (ETA), þar sem krafa er sett fram um röð / samstæðu upphafsprófa og þegar það er komið á markaðinn á framleiðsluprófanir og innra og ytra eftirlit. Þjálfað sérhæft fyrirtæki (e: PT Specialist Company) verður að setja eftirspennukerfið (e: PT – system) upp og tryggja faglega uppsetningu í samræmi við samþykktar kröfur þess, sem eiga að vera skv. ETAG 13. Sérhæfða fyrirtækið getur hins vegar falið verktaka sem það treystir að framkvæma hluta þess sem unnið er á verkstað.

Fljótlega eftir að farið var að afla upplýsinga vegna verkefnisins kom í ljós að [fib Bulletin 75^{2\)}](#) væri kominn út, sem breytti yfirsýninni umtalsvert í þá átt að enn sterkari rök hnigju að því en áður að ídráttarrör úr plasti væru notuð í íslenskum brúm. Í stað þess að fá hingað upp sýnishorn til þess að handleika og prófa sneri verkefnið að afla frekar gagna og röksemda fyrir því að ídráttarrör þessarar gerðar yrðu fremur prófuð í nýrri brú hér á land.

1.1 Forsaga

Venjulega eru það hagkvæmni sjónarmið, sem eru hvatinn að breytingum á efnisnotkun, vinnuáferðum eða verkferli, en stundum eru það slys eða óhöpp, sem stuðla að þróun. Þannig var því varið um nýja gerð ídráttarröra fyrir spennikapla og um breyttar kröfur fyrir graut umhverfis spennikapla í eftirspenntum brúm.

Dæmi er um að eftirspenntar brýr hafi hrunið t.d. Bickton Meadows göngubrúin in Hampshire árið 1967, tærðir vírar fundust í Angel Road brúnni í norður London, brúin yfir River Schelde í Belgíu hrundi fyrirvaralaust (stökk brot) árið 1992, brú í norður Carolina hrundi árið 2000 o.fl. Eftirspenntar brýr voru bannaðar í Bretlandi á árunum 1992 – 1996 vegna almennrar óvissu í ljósi galla, sem komið höfðu fram. Japanir bönnuðu grautaða eftirspennta kapla í brúm eftir að ógrautaðar holur / eyður fundust í ídráttarrörum og tæringar varð vart.

Myndirnar hér á eftir eru úr rannsóknarverkefnum, en gefa eigi að síður aðeins innsýn inn í þau vandmál sem hafa komið upp og reynt hefur verið að finna lausnir á.

Mynd 1 (var einnig í fyrra rannsóknarverkefninu) er úr tilraunaverkefni, [Project Summary Report 0-1405-S⁹](#) við Háskólann í Austin í Texas og yfirskriftin með myndinni er: Göt í grautuninni vegna innilokaðs lofts, blæðingar, ófullnægjandi grautarfyllingar eða flæðis grautar, reyndust skaðleg bæði strengjum og sínhúðuðu ídráttarröri.



Mynd 1 – úr tilraunaverkefni við Háskólann í Austin í Texas

Myndir 2 - 6 eru úr erindi á steinsteypuráðstefnu í Virginíu í mars 2013. **Myndir 2 og 3** eru úr tilraun (e: mockup) með tvær samþykktar forgerðar grautartegundi (e: high performance grout) og sýna að í öðru tilvikinu fyllir grauturinn ekki í ídráttarrörið vegna blæðingar og / eða aðskilnaðar. **Mynd 4** sýnir, að þar sem kapall leggst að ídráttarrörið vegna þess að hann er sveigður nær grauturinn ekki að umlykja spennistálið. Á **Mynd 5** eru hins vegar raunskemmdir.



Mynd 2 – úr tilraunaverkefni, engin óútfyllt rými eða mjúkur grautur



Mynd 3 – úr tilraunaverkefni, óútfyllt rými og mjúkur grautur



Mynd 4 – þegar kapallinn er í sveigju upp eða niður nær grauturinn ekki að umlykja kapalinn



Corrosion concentrated at un-grouted voids through diaphragms

Mynd 5 – dæmi um raunverulegar skemmdir

Mynd 6 lýsir niðurstöðu tilraunar, sem gerð var til þess að lýsa áhrifum v/s – tölu á aðskilnað.



Mynd 6-há v/s – tala eða 0,65. Afleiðingin er aðskilnaður

Skýring höfunfar með myndinni

- Grautur, sem umlykur kapalstrengi ver þá
- Grauturinn umlykur oft ekki kaplana og ver þá því ekki vegna samverkandi þátta m.a. efnisgalla
- Góðu fréttirnar eru, að fáir kaplar hafa gefið sig, þrátt fyrir ófullnægjandi tæringarvarnir

Þessi atvik (skemmdir / hrun) leiddu m.a. til þess að reynt var að finna og þróa leiðir til þess að meta ástand kapla í brúm. Í viðauka í [fib Bulletin 33^{3\)}](#) er geint frá ýmsum aðferðum þar að lútandi svo sem:

Inspection methods, Georadar and covermeter, Potential mapping, Impact-Echo Method, Remanent Magnetism Method, Radiography, Reflectometrical Impulse Measurement, Ultrasonic Methods, Acoustic Monitoring, sem nánar eru skýrðar í [fib Bulltin 33^{3\)}](#).

Í samandreginni niðurstöðu segir á þessa leið: Nákvæm greining á hæfi og takmörkunum þessara aðferða leiðir í ljós, að enginn þeirra veitir fullkomið mat á ástandi kaplanna. Sumar þeirra veita samt sem áður mat að hluta til við fullkomnar aðstæður m.t.t. burðarvirkisins (t.d. hvað varðar aðgengi). Síðan er því lýst, að með því að bora að kaplinum megi skoða raunástandið á þeim stað.

Í kjölfar m.a. áður nefndra óhappa og skemmda var víða um heim farið að leita leiða til þess annars vegar að verja kaplana betur og hins vegar til þess að fylgjast með ástandi þeirra á líftíma brúanna. Í ljósi reynslunnar frá fyrstu notkunarárum rífllaðra ídráttarröra úr plasti (fyrst 1968) lá beint við að þróa þau áfram, sem er í reynd gert með útgáfu [fib Bulletin 7^{1\)}](#).

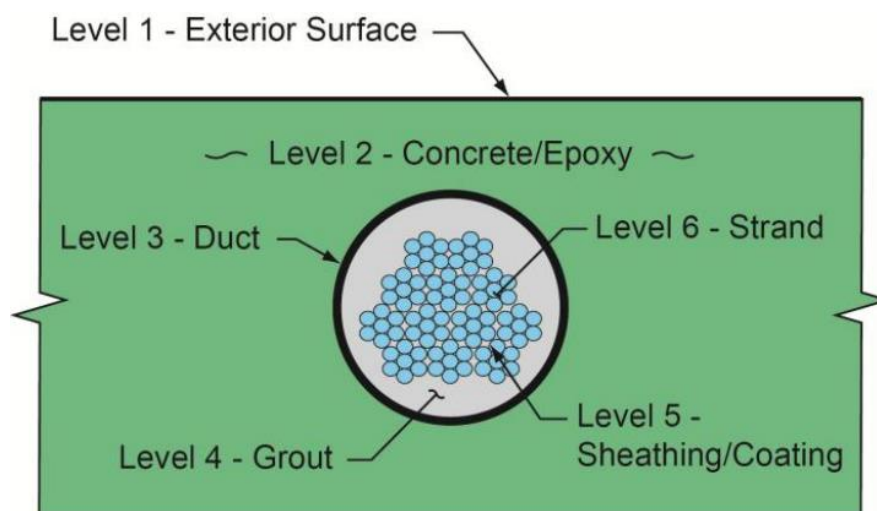
Athyglin beindist einnig að grautum, en ljóst er að það reynist erfiðleikum bundið að viðhalda einsleitni og áreiðanleika „venjulegs grautar“ (e: common grout) við allar aðstæður svo sem í breytilegu hitastigi. „Venjulegur grautur“ er framleiddur á verkstað með því að blanda sementi sem ætlað er til almennra nota ásamt íblendni saman við vatn á verkstað. Þetta er sú aðferð sem notuð hefur verið hér á landi um ára bil.

1.2 Marglaga þétting

Í jarðvegi eins og að framan er lýst þróaðist hugmyndafræðin um marglaga þéttingu. Skv. gr. 1.3.1 í fib Bulletin 33³⁾ felst í henni viðurkenning á því að það sé erfiðleikum bundið að ná fullkominni vörn fyrir kapla með einhverri einni aðferð. Mælt er með að nálgun vandamálsins um endingarhönnun eftirspenntra kapla með langan líftíma að markmiði sé með marglaga þéttingu. Þessi aðferð hefur verið notuð í jarðfestum og gerir kröfu til þess að gerðar séu fjöldi varnaráðstafana með það í huga, að eitt óskert heilt lag viðhaldi því að heildin sé í lagi þó vörn annars lags eða annarra laga bili að hluta til.

Varnarlag er lag eða aðgerð sem framkvæmd er eða komið fyrir með það að takmarki að tryggja langtímaendingu kapla. Þannig er ákveðin eftirlitsaðgerð, sem e.t.v. leiðir til viðhalds að lokum ein varnaraðgerðanna. Megin verkefnið er að lágmarka snertingu vatns við burðarvirkið. Þetta felur í sér röð hönnunaraðgerða, m.a. varðandi útfærslu deila, huga að frágangslausnum svo sem að veita burt vatni, fyrirkomulagi vatnsvarnarlaga og yfirborðsfrágangi.

Nokkrum þáttum marglaga þéttingar er lýst á Mynd 7, sem er í riti [Federal Highway Administration](#)¹⁰⁾.



Mynd 7 – marglaga þétting skv. [Post-Tensioning Tendon Installation and Grouting Manual](#)

Liðir endingarhönnunar skv. [Bulletin 33](#)³⁾:

Val ídráttarröra og grautun þeirra ásamt þáttum tengdum þeim eru liðir í endingarhönnun skv. gr. 1.3.1 í fib Bulltin 33³⁾, sem sett er fram á eftirfarandi hátt:

- staðsetning brúarinnar og áreiti umhverfisins. Tæring af völdum salts er eitt megin áhyggjuefnanna í tengslum við steiptar brýr, þar sem burðarvirkið verður fyrir vegsalti eða salti sem berst með vindum (e: air born salt), þ.e. sjávarumhverfi
- lausn burðarvirkisins með það að markmiði að lágmarka þensluraufar og að mannvirkið sé samfellt
- þversniðsgerðin og lögun þess sérstaklega við útlínur til þess að lágmarka áhættuna á að áreitinn efni komist inn í mannvirkið
- aðgengi til eftirlits, prófana og hugsanlega til þess að skipta út þáttum með skamman hönnunarlíftíma
- fyrirkomulag kapla sem hæfa byggingaraðferðinni og viðhaldinu



- f) staðsetning, útfærsla og vörn festa
- g) grautun ídráttarröra
- h) gæðatrygging og prófanir meðan á framkvæmd stendur
- i) sjá fyrir möguleikum til þess að bæta við eftirspennu (auka ídráttarrör)
- j) skilgreining ídráttarröranna t.d. ídráttarrör úr tæringarþolnu efni, sem geta útilokað tærandi aðskotaefni
- k) útfærsla þéttilaga í yfirborði brúa og hönnun fráveitukerfis til þess að koma í veg fyrir að vatn komist inn í mannvirkið, en vatnið er hin venjulega flutningaleið fyrir tærandi aðskotaefni
- l) skilgreining gæða steypunnar og steypuhula
- m) aðferðafræðin við framkvæmdina, þ.e. hversu byggjanlegt mannvirkið er og hvort unnt er að standa faglega að því, m.t.t. handbragðs og vinnuaðferða

1.3 Umhverfisaðstæður hér á landi

Landið er umlukið sjó og frá sjónum berst salt með vindum (e: wind borne - / air borne chlorides), þannig að um sjávarumhverfi er að ræða, en ætla má að úr áhrifunum dragi eftir því sem fjær dregur ströndinni. Auk salts sem berst með vindi er hluti vega saltaðir í dag og reikna verður með að umfang söltunar aukist vegna aukinna krafa vegfarenda og aukins ferðamannastraums, þannig að vegir sem ekki eru saltaðir í dag kunni að verða saltaðir síðar.

Í sumum tilvikum brúa brýr firði, þannig að auk þess að salt berist með veðrum og vindum að þeim berst það að burðarvirkjunum sem sjávarslettur, sem vindur hjálpar auk þess til að bera að þeim. Reikna má með að hlutfallslegt rakastig sé hátt við þessar aðstæður, $\geq 70\%$, en almennt er hlutfallaslegur raki fremur hár hér á landi.

Yfirborðspéttingar brúa hafa fram til þessa sjaldan verið notaðar nema á Reykjavíkursvæðinu. Ending yfirborðspéttinga er einnig takmörkuð, þannig að nauðsynlegt er að viðhalda þeim reglulega, ef telja á þær sem raunverulegar varnir fyrir kapla.

2 Ídráttarrör úr plasti (e: polymer)

2.0 Almennt

Skv. gr. 5.1 í Bulletin³⁾ 75²⁾ takmarkast reynsla af ídráttarrörum úr plasti (e: polymer) fyrir eftirspennta og hefta kapla (notkun hófst um 1968 og með þykkari veggjum frá um 1990) við PE og PP polyolefin og fjallar Bulletin 75²⁾ því eingöngu um þær gerðir plasts.

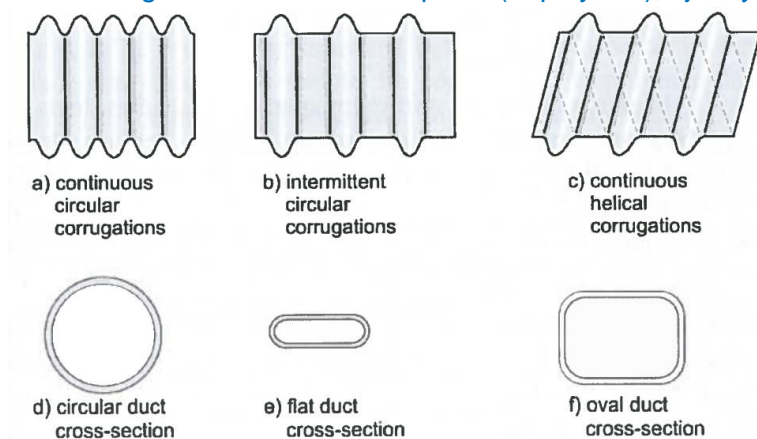
Í gr. 1.1 í Bulletin³⁾ 75²⁾ segir að eftir nærri 20 ára reynslu af nýrri kynslóð ídráttarröra (með þykkari veggjum) séu þeir kostir sem almennt eru nefndir:

- bætt tæringarvörn kaplanna
- þéttari tengilausnir en í málmídráttarrörum
- kaplarnir heilhjúpaðir með viðeigandi þéttingum milli samsetninga ídráttarröranna
- möguleiki á að vakta kapalvörnina, þ.e. hvort tæring myndist í köplum
- aukið þreytuþol
- minni viðnámstöp

Það er fjöldi þátta í tengslum við ídráttarrör úr plasti, sem þarfnast sérstakrar athygli, annað hvort á meðan á hönnun stendur og unnið er að deilum og síðan við uppsetningu og notkun á verkstað:

- sveigjanleiki / beygjanleiki ídráttarröra úr plasti
- virkni ídráttarröra úr plasti er hita- og tímaháð
- núningsslit milli kapla og veggja ídráttarröra veldur því að takmarka þarf lágmarks beygjuradíus ídráttarröra úr plasti
- þau eru viðkvæm fyrir skemmdum

Útlit dæmigerðra ídráttarröra úr plasti (e: polymer), sjá Mynd 8:



Mynd 8 – úr gr. 3.3.2 í fib Bulletin 75²⁾

Skv. gr. 3.3.2 í Bulletin 75²⁾ er hefðbundið að nota hringlaga ídráttarrör úr plasti fyrir margstrengja kapla í brúm eða öðrum verkfræðilegum mannvirkjum. Hringlaga lagnir verður að hanna til þess að þola dæmigert álag á meðan á uppslætti og steypuvinnu stendur. Þegar ídráttarrörin eru sterk er mögulegt að setja kaplana í annað hvort áður eða eftir að steipt er. Í brúm er fremur valið að koma spennistálinu fyrir á eftir og rétt áður en spennt er upp til þess að komast hjá vandamálum vegna tímabundinna tæringarvarna kaplanna, sjá gr. 2.8.6. Ef líklegt er að farið verði yfir leyfilegan tíma frá því köplum er komið fyrir og grautunin framkvæmd



þarf að viðhafa viðbótar tímabundnar tæringarvarnir t.d. að nota vatnsuppleysanlegar olíur á spennistálið áður en því er komið fyrir.

Notkun venjulegra hriplagna gengur ekki:

Það kann að þykja nærtækt að nota plastlagnir framleiddar hér á landi í stað innfluttra röra, en skv. gr. 1.2 Lesson lerned í Bulletin 75²⁾ gengur það ekki:

Hriplagnir af polymer gerð eru ekki nothæfar: Almennt er veggþykkt þeirra ekki nægjanleg til notkunar í eftirspennt virki. Rifflaðar hriplagnir hafa lítið slitþol. Aukabúnaður (tengingar og ventlar) eru ekki til fyrir hriplagnir úr plasti (e: polymer). Þar af leiðandi er ekki unnt að útvega þéttar tengingar við festur né til ídælingar eða loftunar eins og krafist er í varnarstigum PL2 og PL3, sem eru skilgreind í gr. 2.4 Val varnarstiga fyrir kapla hér á eftir.

2.1 Aðferðafræði við val varnarstigs kapla

Í kafla 3 í fib Bulletin 75²⁾ er fjallað um hlutlæga aðferðafræði til að velja varnarstig kapla og eftirfarandi kemur m.a. fram: Hönnunarlíftími brúa er gjarnan miðaður við 100 ár, en í því felst að gert er ráð fyrir að brúin endist þann tíma með eðlilegu viðhaldi. Mikilvægasta atriðið sem snýr að köplunum er að verja þá gegn ytri tærandi orsakavöldum eins og vatni, súrefni, vindbornu salti og vegsalti og sjá til þess að þeir sitri ekki inn í mannvirkið.

Veikir hlekkir í annað hvort ytri varnarlögum (t.d. þéttilag) eða tæringarvörn kapla geta leitt til skerðingar á burðargetu eftirspennta virkja. Megin ástæða fyrir skemmdum eftirspennta virkja er af völdum salts. Flutningsmiðillinn fyrir salt er háður samverkandi áhrifum vinds, vatns og hita. Ef mögulegt er að eyða leiðum fyrir tæringarvaldinn til þess að komast að köplunum er unnt að koma í veg fyrir tæringu. Hugsanlegir veikir punktar í burðarvirkinu, sem vatn e.t.v. saltmengað kemst mögulega um að köplunum eru m.a. taldir eftirfarandi:

- Gallar eða bilun í ytri vörnum:
 - skemmdir í slitlagi (t.d. sprungur)
 - þéttilag er ekki til staðar eða það er gallað, einnig út við útbrúnir
 - niðurföll eða frárennslislagnir virka ekki
 - niðurföllum er ekki rétt fyrirkommið m.t.t. slitlags eða þéttilags
 - þenslurauf lekur
 - steypuskil eða skil milli eininga eru sprungin og lek
 - gallar tengdir aukahlutum t.d. lýsingu eða rafmagni
 - gallar tengdir steypuhulu
- Gallar eða bilun tengdir tæringarvörnum kapla:
 - stútar þ.e. ídæli- eða loftunarstútar fyrir graut opnir að hluta til eða alveg opnir
 - lek, skemmd (af aflrænum toga eða vegna tæringar) ídráttarrör úr málmi
 - sprungin eða hröngluð steypa
 - grautur fyllir ekki út ídráttarrör í há- eða lágpunktum, sem veldur því að hann ver ekki spennistálið
- Viðbót í ljósi reynslunnar:
 - steypa reynist ekki uppfylla fyrirskrifaðar kröfur, sem hefur áhrif á þéttleika t.d. of lítið sement eða of há v/s - tala
 - mistök í niðurlögn steypu t.d. of langur tími milli bíla eða niðurlögn steypulaga þannig að ekki reynist unnt að titra lögin saman og hún verður ekki einsleit, ófullnægjandi titrun sem leiðir til hröngls eða lögin ekki titruð saman



→ sprungur vegna ófullnægjandi aðhlúunar eða hitastýringar vegna kvörnunarhita steinsteypunnar

Aðferðafræðin í [fib Bulletin 75^{2\)}](#) sem er sú sama og sett er fram í [fib Bulletin 33^{3\)}](#) byggir á að meta annars vegar áreitistig (e: aggressivity) umhverfis burðarvirkisins og hversu útsett (e: exposure) það eða hluti / hlutar þess eru, skv. gr. 2.2 *Áreitistig umhverfisins* hér á eftir og hins vegar að meta hvernig burðarvirkið í viðum skilningi (einnig útfærslur og þéttlög) ver kaplana, (e: protection by the structure) skv. gr. 2.3 *Mat á vörnum burðarvirkisins*. Út frá þessum breytum er varnarstig kapla (e: protection level) valið.

2.2 Áreitistig umhverfisins

Meðfylgjandi tafla, [Tafla 1](#), hér á eftir er úr [fib Bulletin 33^{3\)}](#) og byggir á töflu úr [ÍST EN 206-1^{11\)}](#) að viðbættum dálkinum lengst til vinstri, áreitistigi, en með niðurstöðu úr honum er áreitistigið eða lóðrétti ásinn í [Mynd 13](#) ákveðinn:

Áreitistig	Tákn	Lýsing umhverfis	Dæmi um aðstæður þar sem áreitið á við
Lágt	Engin hættu á tæringu eða öðrum skemmdum		
	X0	Fyrir steypu án bendingar eða innsteypts málmis: Öll áhrif nema þar sem gætir frost þíðu, slit- eða efnaáraunar Fyrir steypu með bendingu eða innsteyptum málm: Mjög þurrt	Steypa inni í byggingum með mjög lítinn loftraka

Áreitistig	Tákn	Lýsing umhverfis	Dæmi um aðstæður þar sem áreitið á við
Lágt ↓ Meðallag	Tæring vegna kolsýringar		
	XC1	Þurrt eða ávallt blautt	Steypa inni í byggingum með lítinn loftraka Steypa sem er ávallt á kafi í vatni
	XC2	Blautt, sjaldan þurrt	Steypufirborð sem sætir langvinnri snertingu við vatn Algengt í undirstöðum
	XC3	Miðlungs rakastig	Steypa inni í byggingum með miðlungs- eða háan loftraka Útsteypa sem er skýlt fyrir regni
	XC4	Blautt og þurrt til skiptis	Steypufirborð í snertingu við vatn, ekki í áreitistigflokki XC2

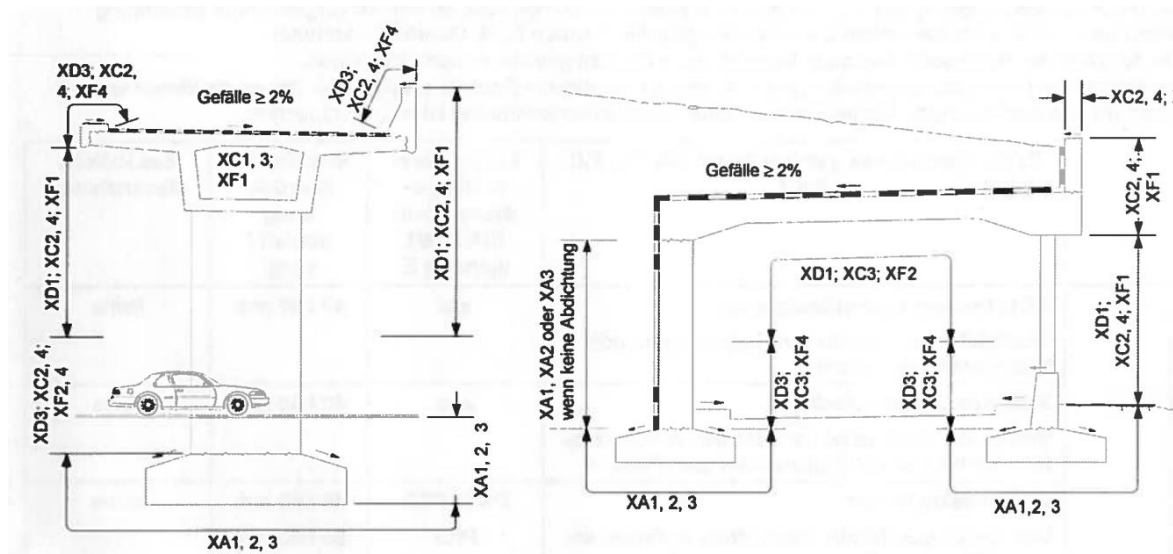
Áreitistig	Tákn	Lýsing umhverfis	Dæmi um aðstæður þar sem áreitið á við
Meðallag ↓ Hátt	Tæring af völdum annarra klóríða en klóríðum úr sjó		
	XD1	Miðlungs raki	Steypufirborð óvarið fyrir klóríðum úr loft
	XD2	Blautt, sjaldan þurrt	Sundlaugar. Steypa í snertingu við iðnaðarfrárennsli sem inniheldur klóríð
	XD3	Blautt eða þurrt á víxl	Brúarhlutar sem verða fyrir úða sem inniheldur klóríð. Gangstéttir og akbrautir Bílastæðaplötur

Áreitistig	Tákn	Lýsing umhverfis	Dæmi um aðstæður þar sem áreitið á við
Meðallag ↓ Hátt	Tæring vegna klóríða úr sjó		
	XS1	Kemst í snertingu við loftborið salt, en er ekki í beinni snertingu við sjó	Mannvirki á strandsvæðum
	XS2	Ávallt á kafi	Hlutar sjávarmannvirkja
	XS3	Fjöruborð og skvettu- og úðasvæði	Hlutar sjávarmannvirkja

Áreitistig	Tákn	Lýsing umhverfis	Dæmi um aðstæður þar sem áreitið á við
Meðallag Hátt Meðallagi Hátt	Frostþíðuáraun með eða án afísingarefna		
	XF1	Vatnsmettunarstig í meðallagi án afísingarefna	Lóðréttir steypufletir sem verða fyrir úrkomu og vindi
	XF2	Vatnsmettunarstig í meðallagi með afísingarefni	Lóðrétt steypufirborð umferðarmannvirkja sem verða fyrir frosti og loftbornum afísingarefnum
	XF3	Hátt vatnsmettunarstig án afísingarefna	Láréttir steypufletir sem sæta úrkomu og frosti
	XF4	Hátt vatnsmettunarstig með afísingarefni	Vegir og brúargólf sem verða fyrir afísingarefnum Steypufirborð sem verður fyrir úða, sem inniheldur afísingarefni, og frosti Skvettusvæði sjávarmannvirkja sem verða fyrir frosti

Tafla 1 – Úr Bulletin 33³⁾ - val áreitsstigs út frá efnu og áreiti í umhverfi – lóðrétti ásinn í Mynd 13.

Í Svissnesku leiðbeiningunum; [ASTRA 2005^{12\)}](#) er áreiti á brú sett fram myndrænt á eftirfarandi hátt í [Mynd 9](#):



Mynd 9 – áreiti á brú skv. [ASTRA 2005^{12\)}](#)

Ef aðeins er horft til þess að brýr hér á landi eru almennt í sjávarlofti er áreitistig þeirra skv. [Töflu 1](#) á bilinu frá [meðallagi – hátt](#). Ef sjávarloft kæmi ekki við sögu og á yfirborði brúar væri þéttilag, sem væri reglulega viðhaldið (líftími þéttilaga er e.t.v. á bilinu 20 – 30 ár) mætti mögulega meta áreitistig hennar háð aðstæðum að öðru leyti sem [lágt](#). Hafa verður hugfast eins og áður hefur komið fram, að vegir sem ekki eru saltaðir í dag kunna að verða saltaðir síðar og að brýr yfir firði fá á sig áreiti frá sjónum sem skvettur og með söltu jafnvel saltmettuðu lofti.

2.3 Mat á vörnum burðarvirkisins

Á lárétta ásnum í [Mynd 13](#) er mat á vörninni, sem burðarvirkið veitir köplunum. Skilgreining á þessum þáttum er sett fram í [gr. 3.1.4 í Bulletin 75^{3\)}](#):

1. Gæði steypunnar og steypuhula á járnum

Steypan sé úr góðum fylliefnum, sem viðhalda eiginleikum hennar til lengri tíma. Steypan á að vera þétt og lekt lítil (e: permeability). Stærð steypuhulu hæfi aðstæðum, en lekaleiðin fyrir skaðleg efni lengist eftir því sem hulan er stærri. Til þess að steypan sé í háum gæðaflokki og fái einkunnina „hár“ fyrir þennan lið ætti steypuhula og lekt hennar að vera hönnuð þannig, að það séu 90% líkur á að ekki verði um tæringarmyndun að ræða áður en hönnunarlíftíminn er liðinn, samsvarandi 10% líkum á að ótímabær tæring byrji. Ef gæði steypunnar er lök, hula er lítil og aðhlúun áfullnægjandi fæst einkunnin „lágt“ fyrir liðinn.

Ath.: Almennt verður steypa þéttari eftir því sem v/s – tala er lægri. Notkun kísilyrks leiðir til þéttari steypu sem og notkun flugösku. Vegagerðin hefur miðað við $v/s \leq 0,4$

2. Steypusprungur

Útfærsla burðarvirkisins og aðhlúun steypunnar (þá væntanlega m.t.t. raka og hita, þ.e. hámarks hita í sniðinu og hitamismunur í gegnum það innan tiltekinna marka) dregur úr líkum á sprungum. Viðeigandi fyrirkomulag við steypuvinnu sem og steypuröð er annar þáttur að huga að. Uppspennuröð getur haft áhrif á hugsanlega sprungumyndun, sérstaklega nálægt festum. Það dregur úr líkum á sprungumyndun að spenna tiltölulega snemma (eða a.m.k. fyrsta áfanga uppspennunnar)

Ath.: Skv. gr. 7.3 í ÍST EN 1992-2¹⁵⁾ skulu spennt snið, sem verða fyrir umhverfisáreiti (e: exposure class) í flokkum XD1, XD2, XS1, XS2 og XS3 vera þrýst í álagstilvikinu algengt (e: frequent load combination), sem dregur úr líkum á sprungumyndun undir eiginþunga og notálagi.

Ef öllum kröfum er mætt skv. ofanskráðu fæst einkunnin „hátt“ fyrir liðinn, annars „lágt“



Mynd 10 – yfirborð brúar



Mynd 11 – yfirborð brúar

Steypan milli sprungnanna skv. Myndum 10 og 11 er að líkindum mjög þétt, þ.e. lítil lekt eða lág indreypingardýpt. Það ræðst hins vegar af vídd og dýpt sprungnanna hvort óæskileg tærandi efni komist um þær að ídráttarrörum og síðan köplum litið til lengri tíma.

Grauturinn er úr semtenti, íblendi og vatni. Hér er því um efni að ræða sem rýrnar og sprungur myndast að líkindum inni í ídráttarrörum

3. Útfærsla steypuskila

Útfærslur steypuskila er þýðingarmikið fyrir verndun eftirspennttra kapla. Viðeigandi undirbúningur yfirborðs í samræmi við nýja staðla er mikilvægur. Ef steypuskil eru fjarri festum og komið er í veg fyrir leka að þeim má gefa einkunnina „hátt“ fyrir liðinn

4. Útfærsla þensluraufa

Óvarðar þensluraufar leka oft og virkni þeirra og ending er háð gæðum efnanna, uppsetningu þeirra og viðhaldi. Útfærslu ætti að miða við að þau muni leka og muni ekki koma í veg fyrir að vatn leki inn né heldur tærandi efni. Festur fyrir kapla ættu ekki að vera í yfirborði þensluraufa. Einkunnin „hátt“ er gefin fyrir þennan lið, þegar séð er fyrir fráveituleiðum fyrir leka og tryggt að hann komist ekki að kapalfestunum. Á hinn bóginn er einkunnin „lágt“ gefin fyrir liðinn, þegar ekki er séð fyrir fráveituleiðum.

Í Bulletin 33³⁾ er sett fram dæmi um frágang festa, þegar ekki unnt að koma þeim í öruggara skjól, Mynd 12,

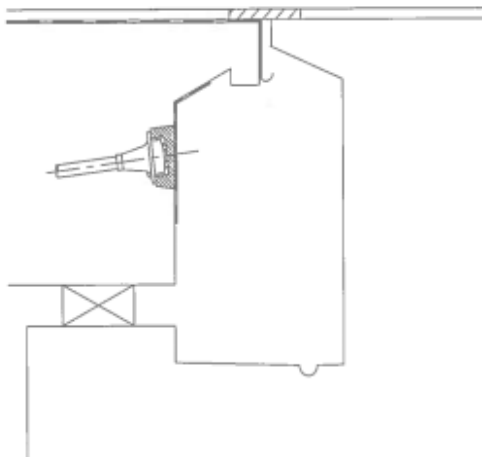


Fig.1.2 Buried anchorage for internal tendons at end of deck with abutment gallery, or beneath expansion joints, [7]



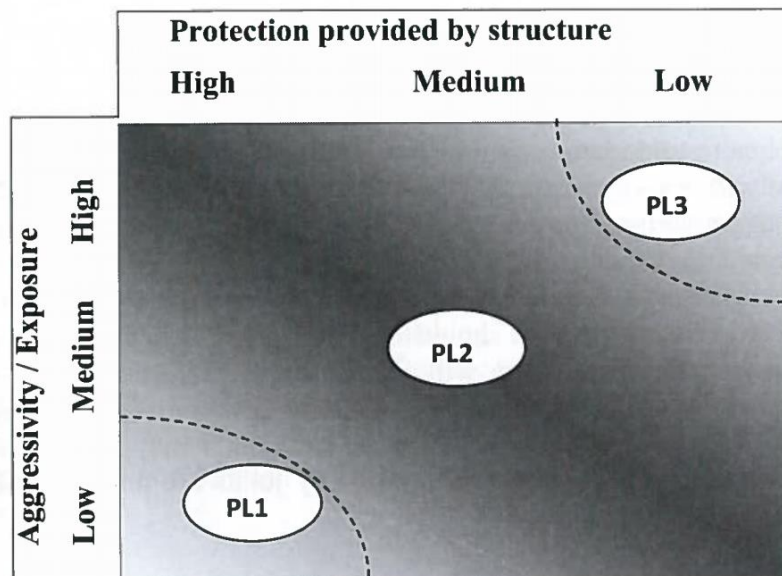
Fig. 1.3 Exposed anchorage for internal tendons in blister near construction or segment joint, [7]

Mynd 12 – dæmi um frágang festa, þega ekki er unnt að koma þeim í traustara skjól

5. Þéttilög og önnur kerfi til þéttingar á yfirborði
Þéttilög eru fyrsta varnarlínan gegn indreypingu vegsalta, en eigi að síður eru engin gerð þéttilaga fánleg í dag, sem eru örugglega vatnspétt á öllum líftíma mannvirkisins. Þegar yfirborðspéttikerfi er komið fyrir og líftímakostnaður reiknaður m.t.t. eðlilegs viðhalds og endurgerðar er einkunnin „hátt“ fyrir þennan lið. Á hinn bóginn „lágt“, ef ekki er um neina vatnsvörn eða yfirborðsvörn að ræða
6. Útfærsla fráveitukerfis
Fráveitukerfið á að vera útfært þannig, að vatni sé veitt burt eins fljótt og kostur er. Hallar og niðurföll eiga að vera hannaðir og byggðir þannig, að vatn geti ekki sitrað að köplunum. Bilun í búnaði eða stífla niðurfalla geta orðið til þess að vatn komist að köplum. Hallandi yfirborð án möguleika á hindrunum fyrir vatnsrennsli eða stíflumyndunum fyrir það leiða til matsins „hátt“ fyrir þennan lið. Enginn halli og / eða niðurföll sem geta stíflast verðskulda einkunnina „lágt“ fyrir þennan lið
7. Úfærsla á samsetningum forgerðra eininga
Dæmigert er að á samsetningum eininga sé notað epoxy lím (e: match cast) til þess að tengja einingar saman, sem er fullnægjandi m.t.t. endingar ef vel er staðið að límingunni, og örugglega þar sem áreiti er lítið. Þar sem áreiti er mikið þarf sérstakrar aðgæslu með samfellu eftirspennu kaplanna í huga um samsetningar. Skoða ætti möguleikann á því að nota útbúnað sem hindrar aðkomu áreitinna efna og epoxy lím gegn grautar leka. Notkun einingatengis (e: segment duct coupler), sem hluta eftirspennukerfisins fylgir einkunnin „hátt“ fyrir þennan lið, en ef einingar eru reistar eingöngu með epoxy lím í skeytunum hlýtur liðurinn einkunnina „lágt“. Annar kostur er að líta þannig á, að vatnsvarnarkerfið, sem ver fúgunu verji einnig kaplana

2.4 Val varnarstigs fyrir kapla

Varnarstig kapla (e: protection level) er eins og áður segir valið út frá breytunum sem settar eru fram í gr. 2.2 og 2.3 hér á undan, varnarstigin eru þrjú; **PL1**, **PL2** og **PL3**. Mynd 13 er úr *fib Bulletin 75²⁾* og ætluð til þess að velja varnarstig kapla myndrænt.



Mynd 13 – myndrænt val varnarstigs kapla út frá áreiti umhverfis / hversu útsett mannvirkið er og vörnum sem burðarvirkið veitir

Horfa verður til þess annars vegar að brýr hér á landi eru í mismunandi miklu sjávarlofti og vegir eru margir hverjir saltaðir eða kunna að verða saltaðir. Hins vegar að þéttlög eru almennt ekki sett á brýr utan höfuðborgarsvæðisins og ef þau eru sett þarf að viðhalda þeim og endurnýja eftir þörfum. Ákvörðun breyta skv. gr. 2.2 og 2.3, þ.e. aðferðafræði *fib Bulletin 75²⁾* og *fib Bulletin 33³⁾*, leiðir til varnarstigs **PL2** fyrir brýr hér á landi í flestum tilvikum. Varnarstig **PL3** væri sérstakt tilvik eins og staðan er í dag.

Varnarstigin þrjú, **PL1**, **PL2** og **PL3** eru skilgreind í gr. 4 í *fib Bulletin 33³⁾* á eftirfarandi hátt, sjá Töflu 2:

Varnarstig (e: Protection level)	Skilgreining
Varnarstig PL1	PL1 er skilgreint sem ídráttarrör ásamt graut, sem veitir haldgóða vörn
Varnarstig PL2	PL2 er skilgreint sem PL1 að viðbætti vatnspéttri, ógagnræpum hjúp sem virkar sem þéttur tálmi
Varnarstig PL3	PL3 er skilgreindur sem PL2 að viðbættum möguleika á að vakta ástandi kaplanna

Tafla 2 – skilgreining varnarstiga

Skilgreining á virknikröfum varnarstiganna er sett fram Töflu 3.3 í *fib Bulletin 75²⁾* og í Töflu 3 hér á eftir að hluta til ásamt dæmum um efnisval.

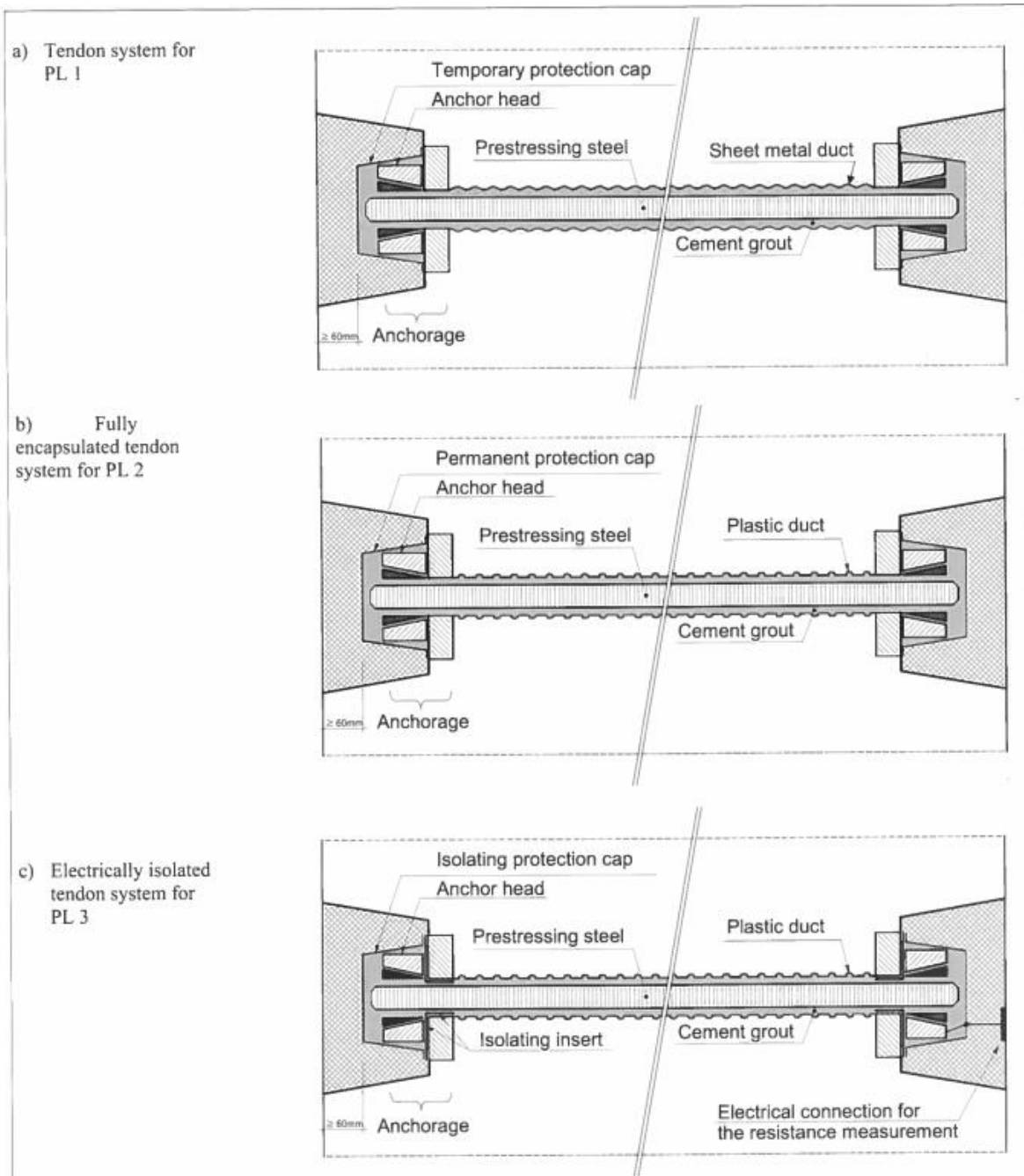


Varnarstig	Virkniröfufur	Dæmi um efnisval
fib PL1	<ul style="list-style-type: none"> ídráttarrörið þarf að vera nægilega sterkt og endingargott vegna flutnings, uppsetningar, niðurlagnar steypu og uppspennu nægilega þétt vegna niðurlagnar steypu og ídælingar efni í ídráttarröri þarf að vera óáreitnið (e: non-reactive) fyrir steypu, spennistál, slakbendingu og graut grauturinn þarf að vera stöðugur frá efnafræðilegu sjónarmiði og óareitinn gagnvert spennistálinu og ídráttarrörinu 	<ul style="list-style-type: none"> óvarinn kapall + rífflað ídráttarrör úr málmí + grautur úr sementi (Ath.: Þetta er það varnarstig, sem Vegagerðin hefur notað fram að þessu) óvarinn kapall + rífflað ídráttarrör úr plasti (e: polymer) + grautur úr sementi eða öðru fylliefni (festusvæði ekki umlukið (e: non-encapsulated))
fib PL2	<p>Til viðbótar virkniröfum fyrir PL1:</p> <ul style="list-style-type: none"> rífflað plaströr (e. polymer) sem á að vera vatnspétt og ógagndræpt fyrir vatnsgufu yfir heildarlengd rörsins, þar á meðal samsetningar efni rífflaða rörsins á að vera efnafræðilega stöðugt, óbrothætt og á ekki að mýkjast upp í skilgreindum umhverfishita og á líftíma (engar friar klóríðjónir eiga að losna (e: extractable) frá því) hlutar við festur eiga að vera með lokun, sem er vatnspétt og ógagndræpt fyrir vatnsgufu 	<ul style="list-style-type: none"> óvarinn kapall + rífflað ídráttarrör úr plasti (e: polymer) + grautur úr sementi eða öðru fylliefni + umlukið festusvæði
fib PL3	<p>Til viðbótar virkniröfum fyrir PL2:</p> <ul style="list-style-type: none"> hefur lýsanlega aðferð / búnað til þess að skoða eða fylgjast með að ídráttarröin séu heil / eða fylgjast með hugsanlegri tæringu, vöktun 	<ul style="list-style-type: none"> Óvarinn kapall + rífflað ídráttarrör úr plasti (e: polymer) + grautur úr sementi eða öðru fylliefni + umlukið festusvæði + möguleikar á eftirliti, vöktun

Tafla 3 - virkniröfufur

Megin viðfangsefnið við val á varnarstigi við hæfi er að sjá fyrir endingu (e: durability, corrosion protection level), en einnig ætti að huga að öðrum sjónarmiðum svo sem hvort fýsilegt er að vakta kaplana (varnarstig PL3), hvort þreytuáhrif geti verið til staðar eða flökkustráumar séu á ferð.

Aðalatriðum og mismun þessara þriggja varnarstiga er lýst myndrænt í gr. 1.4.5 í fib Bulletin 33³⁾, sjá Mynd 14.



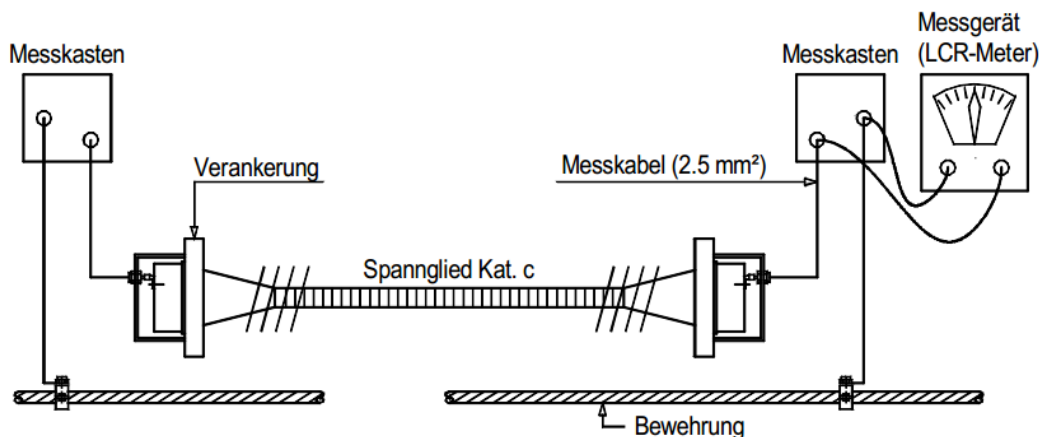
Mynd 14 – myndræn lýsing meginatriða eftirspennukerfa og mismunur varnarstiga PL1, PL2 og PL3

Varnarstig **PL3** er útbúið vöktunarbúnaði eins og áður hefur komið fram, sem koma þarf fyrir og er þannig lýst í [gr. 3.2.3 í fib Bulletin 75^{2\)}](#):

Koma þarf kapalfestum og tengjum þannig fyrir að aðgengi til mælinga, vöktunar og viðhalds mælíbúnaðar sé auðvelt. Heppilegast er að safna rafköplum til vöktunar í fáa vel staðsetta skápa, þannig að aðgangur sé þægilegur til mælinga eða sí tengdrar vöktunar (e: on-line monitoring). Tengingar og skápar þurfa að vera staðsettir þannig að þeir haldist þurrir og læstir.

Mælt er með að raftengjum sé komið fyrir í báðum kapalendum, þannig að endurbættir mælingarkostir séu til staðar, sem gerir t.d. kleyft að nýta þá útfærslu að staðsetja skemmdir í hjúpi kapla. Vöktunarbúnaður getur verið settur upp með mismunandi hætti eftir uppruna þess,

sem getur skaðað kapalkerfið t.d. þreyta eða flökkustraumar. Sjá dæmi um megindrætti uppsetningar vöktunarbúnaðs í báðum endum á mynd frá Stahlton í Sviss, þar sem viðfangsefnið er þreyta og almenn vöktun, [Mynd 15](#).



Mynd 15 – úr ASTRA 12 010¹³⁾. Dæmi um uppsetningu vöktunarkerfis, sem tengt er í báðum endum

Í gr. 1.4.5 í fib Bulletin 33³⁾ eru sýnd dæmi, sem skýra hvaða varnarstigi má ná með mismunandi útfærslum, [Tafla 4](#):

Varnarstig	Efnisval
PL1	Óvarinn strengur + rifflað málmrör + grautur úr sementi
PL1	Óvarinn strengur + ídráttarrör úr plasti (e: polymer) + grautur úr sementi eða öðru fylliefni (festusvæði ekki umlukið)
PL2	Óvarinn strengur + ídráttarrör úr plasti (e: polymer) + grautur úr sementi eða öðru fylliefni + umlukið festusvæði (e: encapsulation of anchorage zone)
PL3	Óvarinn strengur + ídráttarrör úr plasti (e: polymer) + grautur úr sementi eða öðru fylliefni + umlukið festusvæði (e: encapsulation of anchorage zone) + vögtun (t.d. rafrænt einangraðir kaplar, (e: electrically isolated tendon, sjá Myndir 14 og 15))

Tafla 4, efnisval eftir hvaða varnarstig er valið

Sett eru fram nokkur dæmi um val varnarstiga í gr. 3.1.5 í Bulletin 75²⁾, sjá [Töflu 5](#):

Varnarstig	Lýsing á áreiti og hversu útsett mannvirkið er sem og vörnum
PL1	<ul style="list-style-type: none"> Mannvirkið er staðsett í mjög þurru umhverfi þar sem engin hættu er á tæringu eða áreiti (X0 = „lágt“) og vörnin sem mannvirkið veitir er „hátt“. Þetta leiðir til varnarstigs kapals PL1
PL2	<ul style="list-style-type: none"> Mannvirkið er staðsett í mjög þurru umhverfi þar sem engin hættu er á tæringu eða áreiti (X0 = „lágt“) og vörnin sem mannvirkið veitir er „lágt“. Varnarstig kapals valið PL2 Mannvirkið er staðsett í Norrænu loftslagi í frost - þíðu umhverfi með miðlungs metnun með afísingarefnum (XF2 = „hátt“) og vörnin sem mannvirkið veitir er „miðlungs – hátt“. Varnarstig kapals valið PL2 Mannvirkið er staðsett í tempruðu loftslagi 10 km frá sjávarströnd og útsett saltbornu lofti, en ekki í beinni snertingu við sjó (XS1 = „miðlungs“) og vörnin sem mannvirkið veitir er „lágt“ eða „miðlungs“ eða „hátt“. Varnarstig kapals valið PL2
PL3	<ul style="list-style-type: none"> Mannvirkið er staðsett á svæði með áreiti sem er til skiptis vott eða þurrt, en verður fyrir úða sem inniheldur klóríð (XD3 = „hátt“) og vörnin sem mannvirkið veitir er „lágt“. Varnarstig kapals valið PL3

Tafla 5, dæmi um val varnarstiga skv. gr. 3.1.5 í Bulletin 75²⁾



2.5 Val varnarstigs kapla í Sviss

Svisslendingar virðast einna lengst komnir í notkun og þróun lausna varðandi ídráttarrör úr plasti og þess vegna er stundum vísað til svissneskra staðla í þessu sambandi, ekki síst varðandi varnarstig [PL3](#). Af þeirri ástæðu er nærtækt að skoða aðferðafræði þeirra.

Fyrirtækið Stahlton AG í Sviss er sérhæft í að leggja eftirspennt kapalkerfi (e: PT system) frá BBR VT International Ltd og skv. heimild frá þeim. Í netsamskiptum við Juerg Däniker hjá Stahlton kom eftirfarandi m.a. fram:

Í svissneskum staðli eru 3 varnarstig skilgreind:

Kat. a: ídráttarrör úr málm, oft notuð í iðnaðarhúsnæði eða í mannvirkjum, þar sem tæring umhverfisins er lítil

Kat. b: ídráttarrör úr plasti, samsetningar og tengi vatnspéttar, keilur bakvið festur úr stáli. oft notað í iðnaðarbyggingum, í brúm sem skipta minna máli eða í byggingum þar sem umhverfið er í meðallagi tærandi

Kat. c: ídráttarrör úr plasti, samsetningar og tengi vatnspéttar, kaplar og festur rafeinangraðar, algeng notkun er í hraðbrautum og járnbrautarbrúm eða mannvirkjum þar sem tæringarstig er hátt eða þar sem vöktun kaplanna er ráðgerð

Í gr. I.2 Einstufung der Spannglieder bezüglich der Gefährdungssituation í viðhengi [ASTRA 12 010^{13\)}](#) segir:

Köplum getur stafað hættu af klóríðum, vegna þreytu eða flökkustrauma. Tæringarskemmdir af þessum völdum finnast því aftur og aftur. Þekkt eru dæmi í útlöndum um að mannvirki hafi hrunið. Það er ekki unnt að meta tæringarástand spennistáls í málmörum með skaðlausum aðferðum. Af þessum ástæðum hafa síðan á 10. áratugnum í stað stálröra (í varnarstigi [Kat. a](#)), sem veita aðeins takmarkaða tæringarvörn, verði notuð rör úr gerviefnum (í varnarstigi [Kat. b](#) og [Kat. c](#)). Auk betri tæringarvarnar fæst þannig einnig betra þreytuþol spennistálsins. Fyrir spennistál í varnarstigi [Kat. c](#), sem er fullkomin rafræn einangrun, fæst viðbótarkostur sem felst í vörn gegn flökkustraumum og að unnt er að fylgjast með tæringarvörninni yfir allan líftíma mannvirkisins með viðnámsmælingum.

[Höfuðröksemdir fyrir m.a. vöktun og núningsþreytu](#) eru útskýrð í gr. I.2.1, undirgrein greinar I.2 hér að framan:

Vöktun:

Í eftirfarandi liðum eru röksemdir fyrir kröfu um meiri endingu og vöktun spennikapla og þar með fyrir varnarstigi [Kat. c](#):

- Reynslan sýnir að með meira áreiti frá klóríði á mannvirki verði að reikna með tæringu, þar sem upphaflega hannaða vörnin (t.d. þétting yfirborðs) bregst. Möguleiki á vöktun auðveldar í þessum tilvikum að finna út hvaða kapall er skemmdur. Það og hugsanleg staðsetning skemmdarinnar bætir ákvarðanatöku verulega um síðari væntanlega viðgerð
- Þar sem útskipti kapals í óvissu tæringarástandi er mjög dýr og allt að ómöguleg og í mörgum tilvikum truflar eða takmarkar notkun mannvirkisins er nauðsynlegt að komast að niðurstöðu um nauðsyn vöktunar þegar á frumstigi og ákvarða í notkunarsamkomulagi og í útfærslum

Núningsþreyta:

Með notkun ídráttarröra úr leyfilegum gerviefnum verður komist hjá málmsnertingu milli spennistáls og ídráttarröra umhverfis kaplana eða slakbendingarinnar. Þetta leiðir til mun betra þreytuástands (minnkun núningsþreytu).



Viðmið Svisslendinga við val varnarstiga skv. gr. 3.1 Wahl der Spanngliedkategorie í ASTRA 12 010¹³⁾:

Varnarstig kapla er valið út frá eftirfarandi þáttum:

- notkunargerð (vegbrú, lestarbrú, brú fyrir blandaða umferð)
- kröfu um vöktun á þéttleika þéttilagsins
- gerð og stærð / magn skaðlegra áhrifa - skaðvalda. Þar með telst vegsalt, flökkustraumar og núningsþreyta
- hversu útsett virkið er. Nálægð spennistálsins við skaðvaldinn
- hönnuð vörn burðarvirkisins og járnendingarinnar. Þar með telst hugsanleg tilvist þéttilags yfirbyggingar eða hugsanlegir gallar í henni

Þegar um er að ræða spennikerfi í varnarstigi **Kat. c** eða **PL3** er það háð kröfum vegna þess hættuástands sem við er að eiga hvort eftirfarandi 3 höfuðtilvik eru aðgreind:

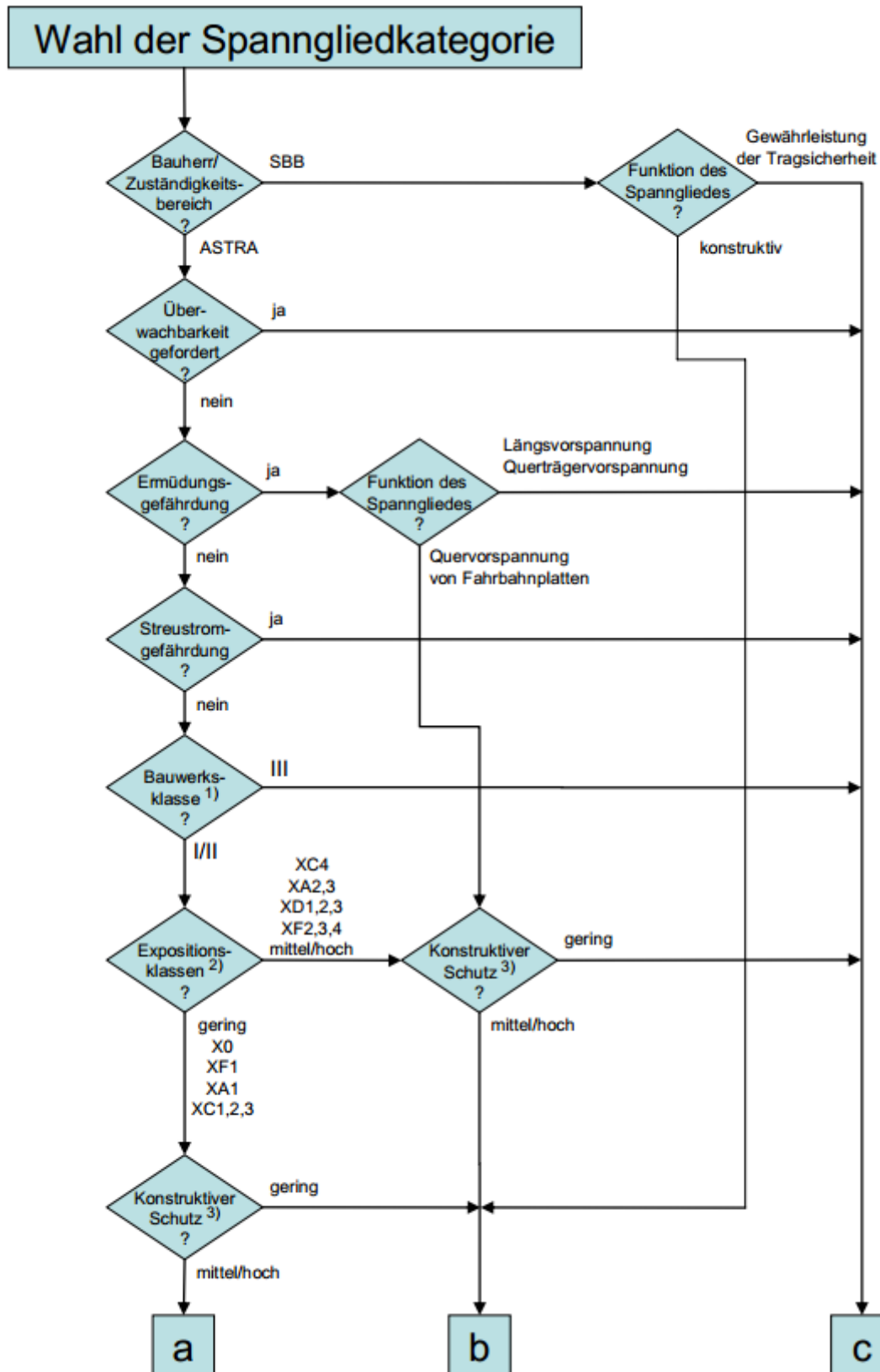
- vöktun
- núningsþreyta
- flökkustraumur

Í sömu leiðbeiningum **gr. I.2 Einstufung der Spannglieder bezüglich der Gefárdungssituation eða Flokkun kapla m.t.t. áhættu** segir ennfremur:

Köplum getur stafað hættu af klóríðum, vegna þreytu eða flökkustrauma. Tæringarskemmdir af þessum völdum finnast því aftur og aftur. Þekkt eru dæmi í útlöndum um að mannvirki hafi hrunið. Það er ekki unnt að meta tæringarástand spennistáls í málmrörum með skaðlausum aðferðum. Af þessum ástæðum hafa síðan á 9. áratugnum í stað stálröra (í varnarstigi **Kat. a**), sem veita aðeins takmarkaða tæringarvörn, verði notuð rör úr gerviefnum (í varnarstigi **Kat. b** og **Kat. c**). Auk betri tæringarvarnar fæst þannig einnig betra þreytuþol spennistálsins. Fyrir spennistál í varnarstigi **Kat. c**, sem er fullkomin rafræn einangrun, fæst viðbótarkostur sem felst í vörn gegn flökkustraumum og að unnt er að fylgjast með tæringarvörninni yfir allan líftíma mannvirkisins með viðnámsmælingum.

Svissneskt flæðirit til að velja milli varnarstiga:

Í **gr. 3.1 Wahl der Spanngliedkategorie í ASTRA 12 010¹³⁾**, er val á milli varnarstiga sett fram í flæðiriti á eftirfarandi hátt, **Mynd 16**:



Mynd 16 – val milli varnarstiga skv. ASTRA 12 010¹³⁾

2.6 Dæmi um samanburð á eiginleikum, þreyta

Í gr. 9.1 General í fib Bulletin 75²⁾ er að finna umsögn um varnarstigin:

Hefðbundin ídráttarrör fyrir hefta eftirspennta kapla eru úr riffluðum málmörum gerðum úr málmrenningum. Þó ídráttarrör úr málm hafi ákveðna aflfræðilega (e: mechanical properties) eiginleika (stífni og seiglu) og efnafræðilega eiginleika (stöðugleika og bregðist ekki við (e: non-reactiveness) öðrum þáttum eftirspennta kerfisins) er ekki unnt að líta á þau sem raunverulega tæringartálma án annarrar hjálpar. Það er aðeins mögulegt að flokka hinn hefðbundna kapal í riffluðum ídráttarrörum úr málm sem kapal í varnarstigi PL1.

Í dag er varnarstig kapla PL1 (t.d. málmrör) talið ófullnægjandi í áreitiflokkum umhverfis miðlungs – háa og / eða miðlungs – lága vörn burðarvirkis (e: structural protection layers). Sú krafa er almennt viðurkennd í dag að kapallinn fái viðbótartæringarvörn, sem leiðir til varnarstiga PL2 og PL3.

Í gr. 6.12 í fib Bulletin 75²⁾ er fjallað um sprungumyndun í málmörum við endurtekna sprunguopnun og samanburður við rör úr polymer:

Einnig er rétt að vekja athygli á, að skv. gr. 6.12 í fib Bulletin 75²⁾ hefur verið sýnt fram á, að ídráttarrör úr málm springa í gegn við endurtekna sprunguopnun (e: cyclically opening cracks). Ídráttarrör úr polymer standa sig mun betur við sambærilegar aðstæður. Sjá einnig samanburðarrannsóknir í gr. 2.7

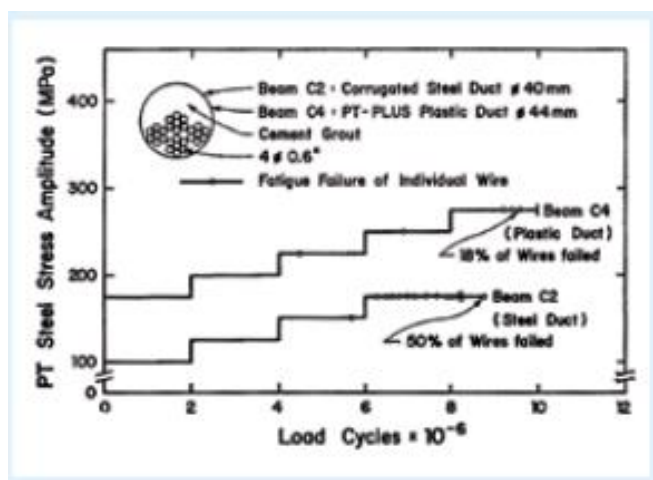
Þreyta:

VSL skýrir mismun á þreytu háð gerð ídráttarröra á eftirfarandi hátt í netbæklingi:

Þreytuþol eftirspennta virkja er einnig háð gerð ídráttarrörsins, sem notað er. Þegar rifflað stálrör er notað er snertiflöturinn milli kapalsins og stálrörsins mjög takmarkaður. Það leiðir til þess að snertiprýstingurinn á sérstökum stöðum er mjög hár. Kostur PT-PLUS plast-ídráttarröra er að snertiflöturinn er stærri og prýstingurinn milli kapals og rörs er lægri.

Mynd 17 sýnir niðurstöðu þreytuþróa á eftirspenntum bita, sem framkvæmt var í ETH í Zürich. Niðurstaðan gefur til kynna þreytuþol undir endurteknu álagi í nafnspennusviði spennistálsins.

X – ásinn sýnir fjölda umferða meðan Y – ásinn sýnir spennu útslátt eftirspennta stálsins. Próf í ídráttarrörum úr fjölliðum (plasti) koma mun betur út m.t.t. þreytu en stálrör.



Mynd 17 – niðurstaða þreytuþróa

Fjallað er um þreytu í gr. 3.2.5 í fib Bulltin 75²⁾ og þar segir að þreyta hafi verið rannsökuð í nokkrum ransóknarverkefnum í grautuðum ídráttarrörum úr plasti og stáli. Rannsóknirnar hafi leitt í ljós að núnigsþreyta (fretting fatigue) sé erfiðust milli spennta stálsins og yfirborðs málmröranna. Með því að nota ídráttarrör úr plasti er þessi þáttur á mörkum ídráttarröra og spennistáls útilokaður og ending strengja m.t.t. þreytu lengist verulega, sjá Mynd 18.

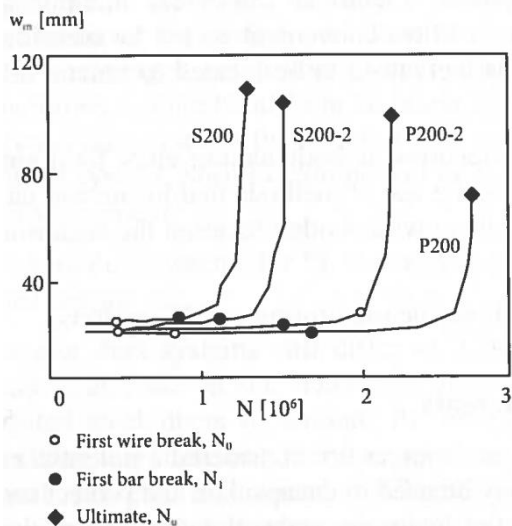


Fig. 3.2: Fatigue life of curved tendons subject to 200 N/mm^2 stress range, placed either in steel strip duct (S) or in polymer duct (P)

Note: w_m : Mid span deflection of beam; N : Number of load cycles

Mynd 18 – úr Bulletin 75²⁾. Samanburður á þreytuþoli strengja í ídráttarrörum úr plast og stál

2.7 Tækniröfur, prófanir, rannsóknir

Þéttleiki:

Fullfrágengin ídráttarrör í varnarstigi PL1 (almennt úr málm) eiga að vera múrþétt (e: morthar tight) og ídráttarrör í varnarstigum PL2 og PL3 eiga vera leka þétt (e: leak tight). Í þessu felst, að eftir flutning, meðhöndlun á verkstað, uppsetningu og steypuvinnu eigi ídráttarrörin ásamt tengingum að vera múrþétt / lekaþétt eftir því um hvað varnarstig er verið að ræða. Þetta er síðan prófað skv. ákveðinni aðferðafræði og eiga ídráttarrörin að standast eftirfarandi kröfur, sjá Töflu 6:

Varnarstig	Tími	Krafa
PL1	Ekki tilgreindur	$\leq 1,5\%$ vökvatap
PL2	5 mínútur	Enginn sjánlegur leki undir jákvæðum þrýstingi
PL3	30 mínútur	Enginsjánlegur leki undir neikvæðum þrýstingi

Tafla 6 – þéttleiki mismunandi varnarstiga

Þéttleiki eftir uppsetningu:

Í gr. 4.2.2 í fib Bulletin 75²⁾ segir, að þegar varnarstig PL2 og PL3 eru fyrirskrifuð skuli sannreyna þéttleika ídráttarröranna, sem hafa verið sett upp á verkstað áður en steyp er með loftþrýstingi. Skv. gr. B.5.3.4 í viðauka er prófað þannig:

- setja 0,5 bara þrýsting ($0,05 \text{ N/mm}^2$) á rörin
- viðhalda þrýstingnum í 1 klst.
- stilla jákvæðan loftþrýsting við 0,5 bar eins og þarf og skrúfa fyrir loka
- vakta loftþrýstinginn inni í ídráttarkerfinu í u.þ.b. 5 mínútur
- mæla hita úti og inni í kerfinu við festur eða tengifestu (coupler) og lágpunkti og hápunkti

Slitrás á innveggjum ídráttarröra úr plasti, skv. gr. 3.2.7 í fib Bulletin 75²⁾:

Meðan á uppspennu stendur þrýstast kaplarnir að ídráttarrörinu alls staðar þar sem sveigja er á því. Þrýstingurinn hornrétt á kapalinn eykst í hlutfalli við álagið frá tjakknum. Samtímis rennur kapallinn eftir yfirborði rörsins, sem nemur lengingu á kaplinum frá föstum punkti (punkti sem hreyfist ekki) að þeim punkti sem er til skoðunar. Samverkandi áhrif þverkraftsins og færsla kapalsins miðað við þann punkt sem er til skoðunar myndar slitrás í plaströrið, sem leiðir til minnkunar á veggþykkt ídráttarrörsins.

Sérstök próf eru framkvæmd til þess að staðfesta:

- að lágmarks veggþykkt sé til staðar meðan á uppspennu stendur og við hámarks hornréttan þrýstikraft frá köplunum
- lágmarks beygjuradíus ídráttarrörsins
- að lágmarks veggþykkt sé til staðar fyrir mismunandi varnarstig, (PL1 = 1,0 mm, PL2 og PL3 = 1,5 mm)

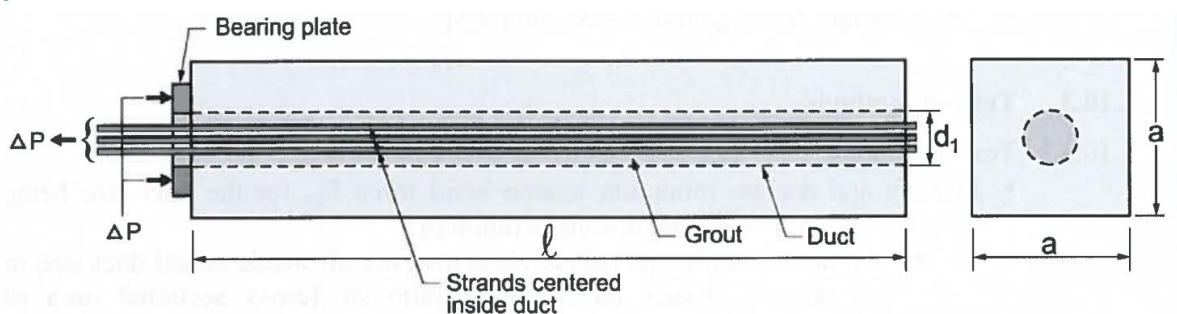
Hitastigið skiptir máli í þessu sambandi, sérstaklega, ef spennit er snemma, sjá gr. 3.2.7.3 í fib Bulletin 75²⁾. Ídráttarrör úr plasti eru þess vegna prófuð við tvö hitastig, þ.e.:

- venjulegan hita $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- háan hita eða a.m.k. 45°C til samþykktar (e: approval testing only)

Hitastig steypunnar er því eitt atriða sem mikilvægt er að hafa í huga og fylgjast með áður en spennit er.

Hefti ídráttarröra við steypu og múr:

Nægilegt hefti á að vera milli ídráttarrörs og steypunnar fyrir utan það annars vegar og hins vega milli ídráttarrörsins og grautarins inn í því skv. gr. 6.10 í Bulletin 75²⁾. Hönnuður þarf að geta gengið út frá því, að hann geti notað hefðbundnar hönnunarforsendur heftra kapla í ídráttarrörum. Í ljósi reynslunnar má ganga út frá því, að svo sé, ef flytja má aukningu í kapalkrafti frá virkum (e: effective) krafti yfir í brotkraft (e: ultimate) eða u.þ.b. 40% af brotstyrk kapalsins á lengd sem nemur $16 \cdot$ þvermáli ídráttarrörsins. Prófið skv. gr. 6.10 er sýnt á Mynd 19.

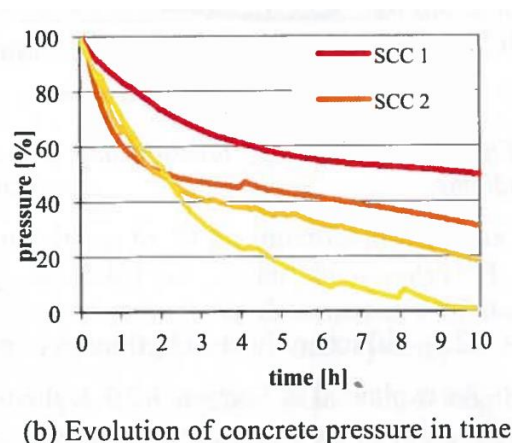
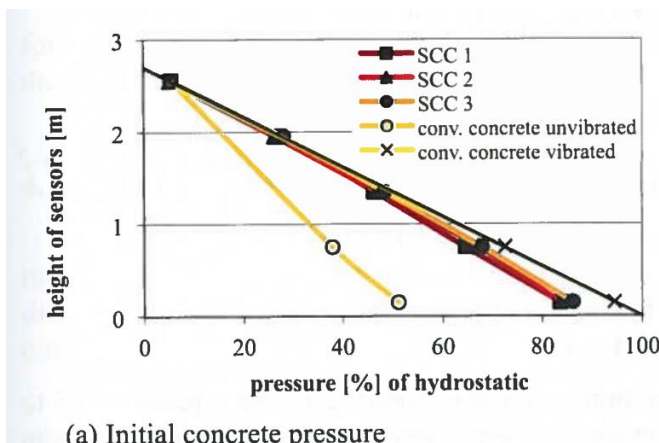


Mynd 19 – heftipróf skv. gr. 6.10 í Bulletin 75²⁾

Prófið stendur í a.m.k. 2 mínútur og kröfurnar, sem uppfylla þarf eru skilgreindar í viðauka A10 í Bulletin 75²⁾.

Steypuþrýstingur:

Ídráttarrör úr plasti eru hönnuð fyrir ákveðinn þrýsting frá steypu við niðurlögn eða $0,75$ bar eða 75 kN/m^2 , sjá gr. 4.1.2.2 í Bulletin 75²⁾. Þetta jafngildir um 3 m steypuhæð. Myndir 20 er úr greininni og skýra áhrif hæðar á þrýstinginn og hvernig hann breytist með tímanum.



Myndir 20 - úr Bulletin 75²⁾ skv. Leemann 2003 og 2006

Endurteknar opnanir sprungna ídráttarröra, skv. gr. 3.2.10 í fib Bulletin 75²⁾:

Ef ídráttarrör úr plasti á að veita fullkomna vörn yfir hönnunarlíftíma mannvirkis ættu þau ekki að springa við opnun sprunga á bilinu 0,1 – 0,2 mm hvort sem er í lang- eða þverátt kapals, jafnvel þó um sé að ræða endurteknar sprunguopnanir við lágt hitastig. Kynntar voru niðurstöður í Abel (1996) á prófunum á steiptum hlutum með annars vegar ídráttarrörum úr málmni og hins vegar úr plasti, þar sem mesta spunguvídd fór upp í 0,5 mm þvert á lögnina. Sprunguopnun var endurtekin að 0,3 mm og sýnin voru vöktuð m.t.t. sprungna. Á hjálagðri Mynd 21, er niðurstaða sýnd fyrir riflað ídráttarrör úr málmni, riflað ídráttarrör úr plasti með spirallaga rifflur með jöfnu millibili (duct A á Mynd 21) og loks ídráttarrör úr plasti verndað af einkaleyfi og með hringlaga rifflur með ákveðnu millibili, duct B á Mynd 21. Eins og sjá má á Mynd 21 byrjar ídráttarrörið úr málmni að springa við endurtekna sprunguopnun 0,1 mm eða minna eftir aðeins fáar umferðir. Ídráttarrör úr plasti af gerð A sprakk við endurtekna sprunguopnun 0,3 mm víða eftir nokkur þúsund umferðir. Gerð B sprakk ekki við neitt þessara prófa að 0,3 mm víðum sprungum og endurtekna opnun og 2 milljónir eða fleiri álagsumferðir, jafnvel í hitastigi allt að -20°C.

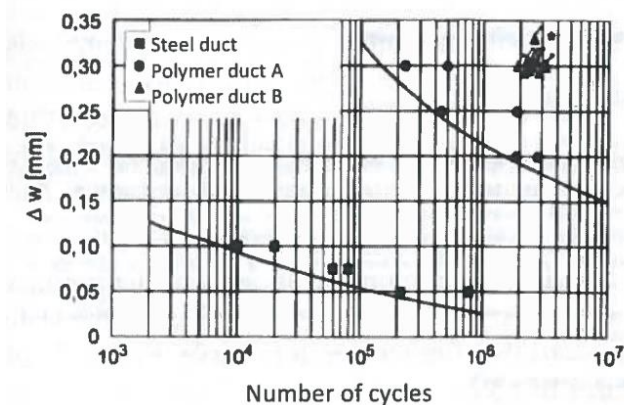


Fig. 3.9: Number of cycles until duct cracking for cyclic crack opening Δw across tendon ducts and maximum crack opening of 0.5 mm according to [Abel (1996)]

Mynd 21 - sprungumyndun í ídráttarrörum úr málmni eða plasti



2.8 Til athugunar fyrir uppsetningu og notkun

2.8.1 Fyrir uppsetningu

Með tilvísun í [Bulletin 75^{2\)}](#) ætti sérlýsingin að:

- skilgreina ídráttarrör ásamt fylgihlutum, sem er í samræmi við [fib Bulletin 75^{2\)}](#)
- skilgreina varnarstig kapla (PL) sem þörf er á fyrir verkefnið, sjá gr. 2.2, 2.3 og 2.4 hér að framan
- skilgreina aðeins notkun á samþykktu PT kerfi (e: post tensioning system / kit) íhluti og efni sem eru í samræmi við ETAG 013 (2002) eða jafngilda tæknilýsingu
- skilgreina að sérhæft PT fyrirtæki (PT Specialist Company, þ.e. verktaki eða byggingafyrirtæki sem setur upp, spennir og grautar í ídráttarrör) vinni PT – verkþættina, sérhæfing í samræmi við [CWA 14646 \(2003\)^{18\)}](#) eða jafngilda tæknilýsingu
- skilgreina að eftirlit með PT verki sé í höndum hæfs, þjálfaðs og reynds eftirlits

Sérhæfða PT – fyrirtækið:

Í [CWA 14646 \(2003\)^{18\)}](#) er verkefni sérhæfða PT – verktakans skilgreint ásam ýmsu öðru sem að uppsetningu PT – kerfinu lítur. Í gr. 4.1 eru hlutverk þeirra sem að framkvæmdinni koma sett í samhengi:

Forsenda gæða spennts mannvirkis liggur í hönnuninni, sem er árangur góðarar samvinnu þeirra sem að henni koma. Í þessu tilliti er hlutverk hönnuðarins mikilvægast, sem forhannar í upphafi með eins almennum hætti og kostur er og á þann hátt að hæft sé hvaða PT – kerfi sem verða vill og næst, þegar fyrir liggur hverjir aðrir koma að verkinu (venjulega þegar verksamningur hefur verið undirritaður) að aðlaga það byggingaraðferðinni og sérstaklega að aðföngum / búnaði sérhæfða PT – verktakans, sem verður til ráðstöfunar fyrir verktakann, sem ábyrgist framkvæmdina. Í réttri hönnun er hugað með tilhlýðilegum hætti að deilum. Þetta er mjög tengt þeirri tækni, sem sérhæfða fyrirtækið innleiðir. Sérhæfða PT – fyrirtæki býr yfir hæfu starfsfólki, sem þekki möguleika og takmörk PT – kerfisins, sem setur það upp með búnaði sem hefur verið viðhaldið með viðeigandi hætti. Þar sem grundvallar atriði er að nánú tæknilegu samráð sé komið á milli þeirra sem bera megin þungann af verkefninu áður en hönnun er lokið, á sérhæfða PT – fyrirtækinu á að vera mögulegt að setja fram ráðleggingar og leggja til viðeigandi PT – hönnun og útfærslur.

Gæði spennts mannvirkis er einnig háð gæðum framkvæmdarinnar. Í ljósi þeirra miklu tækni, sem notuð er í spennikerfum sem og öryggisráðstafanir eiga aðeins sérhæfð PT – fyrirtæki að setja upp PT – kerfi.

Sérhæfða PT – fyrirtækið á að geta:

- undirbúið og framkvæmt vinnuna á verkstað í samræmi við sérlýsinguna
- brugðist fljótt við ófyrirséðum vandamálum með því að lýsa möguleikum á öðrum viðeigandi öruggum lausnum, sem aðlagðar eru verkefninu
- vara aðeins með þjálfað og hæft starfsfólk
- þjálfa og fullgilda hæfða sérfræðinga

2.8.2 Ræsifundur

Í gr. 4.1.3 í [Bulletin 75^{2\)}](#) er lagt til, að í byrjun verkefnis verði ræsifundur með þeim sem tengjast verkefninu, þar sem farið verði yfir þá þætti sem snúa að ídráttarrörum úr plasti. Á slíkum fundi ætti að koma eftirfarandi upplýsingum á framfæri:

- mikilvægum einkennum ídráttarlagna úr plasti

- mismun á uppsetningu þessara ídráttarröra og ídráttarröra úr málmi
- benda á atriði sem sérstaklega þarf að huga að
- hvaða sérstök tékk / yfirferðir þarf að framkvæma
- samskiptaleiðir, ef eitthvað fer úrskeiðis

2.8.3 Framsal vinnu frá sérhæfðum PT verktaka

Ef annað fyrirtæki en sérhæfða PT – fyrirtækið vinnur hluta af uppsetningu ídráttarröra úr plasti þarf að meta hæfi og reynslu starfólksins, sem vinnur verkið, og ef það er nauðsynlegt þarf sérhæfða PT – fyrirtækið að skipuleggja og standa fyrir viðeignadi þjálfun starfsfólksins áður en að uppsetningu kemur. Þannig þjálfun ætti að vera almennilega skráð.

2.8.4 Flutningur og geymsla

Þegar ídráttarrör úr plasti eru geymd úti eiga þau að vera yfir jörð, þannig að lofti vel undir þau og jarðvegur eða óhreinindi á ekki að komast inn í þau, sjá dæmi um geymslu á [Mynd 22](#). Ídráttarrör úr plasti er einnig unnt að geyma og flytja á rúllum, sjá [Mynd 23](#), en skv. [STA – 01/0101^{4\)}](#) eru efri mörk í þvermáli rörs þá ~ 115 mm og ef hiti er $\leq 0^{\circ}\text{C}$ þarf að hita rúllurnar up í 10°C og breiða yfir. Þessi aðferða virðist tæplega raunhæf fyrir íslenskar aðstæður.



Mynd 22 – úr [ASTRA 12 0101^{3\)}](#), dæmi um geymslu úti



Mynd 23 - úr [STA – 01/010](#), rör sett á rúllu í verksmiðju og rúllað út á verkstað

2.8.5 Fjarlægð milli stóla

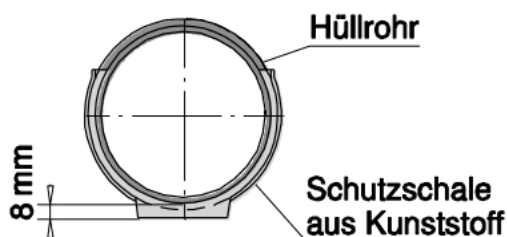
Í [gr. 6.2](#) og [Annex A.2 í Bulletin 75^{2\)}](#) eru sett fram viðmið sem ætlað er sérhæfða PT verktakanum til þess að ákveða fjarlægð milli stóla. Gengið er út frá að niðurbeygja milli stóla sé $\leq L / 500$, þar sem L er fjarlægðin milli stólanna. Í áður nefndri grein segir að mesta fjarlægð milli stóla hafi í raun oft verið tamörkuð við $10 - 12 * \text{þvermál röranna}$.

Í [STA – 01/0101^{4\)}](#) eru hámarksfjarlægðir milli stóla settar fram á eftirfarandi hátt, sjá [Töflu 7](#):

Gerð rörs	Stærðir rörs			Fjarlægð milli stóla		Þvermál burðarstangar
	Innra þvermál	Ytra þvermál	Þvermál á rífflum	Venjulega Krappi $R > > R_{\min}$	Krappasvæði $R \sim R_{\min}$	
BBR VT 50	48	52	59	~ 1,00 m	$\leq 0,60$ m	$\geq 16 - 20$ mm
BBR VT 60	59	63	73	~ 1,00 m	$\leq 0,60$ m	$\geq 16 - 20$ mm
BBR VT 75	76	81	91	~ 1,00 m	$\leq 0,75$ m	$\geq 16 - 20$ mm
BBR VT 100	100	106	116	~ 1,00 m	$\leq 0,95$ m	$\geq 16 - 20$ mm
BBR VT 115	115	122	135	~ 1,20 m	$\leq 1,20$ m	$\geq 16 - 20$ mm

Tafla 7 - fjarlægð milli stóla skv. [STA – 01/0101^{4\)}](#)

Þar sem krappi röranna $R < 2 * R_{\min}$ skal nota sérstaka stóla, sem verja rörið, sjá [Myndir 24 og 25](#):



Mynd 24 – úr STA – 01/0101⁴⁾

Mynd 25 – úr STA – 01/0101⁴⁾

2.8.6 Steypuvinna

Í gr. 2.7 kemur fram að rörin séu hönnuð (virkniröfur (e: performance testing)) m.t.t. þrýsinga frá steypu, sem nemur 75 kN/m^2 , sem jafngildir 3,0 m hæð. Þetta þarf sérstaklega að hafa í huga, ef um sjálfútleggjandi steypu er að ræða eða steypu með seinkara.

Skv. [gr. 4.2.2 í Bulletin 75^{2\)}](#) má ekki setja neitt álag á ídráttarrör úr plasti, þegar þeim hefur verið komið fyrir (álag umfram steypuþrýstinginn) og ekki ganga ofan á þeim. Utan að komandi álag getur sveigt rörin (forbeygt þau) það mikið að þau réttist ekki upp á ný í það form, sem þeim var ætlað að vera í, hvað þá heldur þegar steypuvinna er framundan. Athygli er vakin á því, að forbeygd rör úr plasti geta haft mun minni mótstöðu gegn þverálagi svo sem steypuþrýstingi.

Í [gr. 4.2.3 í Bulletin 75^{2\)}](#) kemur fram, að sérstakrar aðgæslu sé þörf við niðurlögn steypu til þess að komast hjá skemmdum á ídráttarrörum. Niðurlögn steypu ætti að vera skipulögð og framkvæmd með það í huga að komist verði hjá því, að steypa falli á ídráttarrörin, steypuþrýstingur yti þeim lárétt (fylla jafnt að beggja vegna) eða að titurstafir skaði ídráttarrörin eða tengingar við þau.

Í [gr. 10.1 í PT/ASBI M50.3-12^{17\)}](#) er þetta sett fram á eftirfarandi hátt:

Nota skal aðferð við niðurlögn og titrun steypu, sem leiðir ekki til þess að ídráttarrör færast úr stað eða skaðist né heldur tengingar, festur eða annað innsteypt. Stóla skal og styðja ídráttarrör þannig, að komist verði hjá hvers konar hnökrum eða broti meðan steypa er lögð. Nota skal fjarlægjanlegar stífur eins og þörf krefur til þess að viðhalda réttum ferli og lögun. Steypa á ekki að falla á rör úr meiri hæð en sem nemur 900 mm (3 fetum). Titurstafir á ekki að hvíla á neinum hluta eftirspennukerfisins.

Í [gr. 4.3 í Bulletin 75^{2\)}](#) segir, að eins fljót og mögulegt er að steypuvinnu lokinni ætti að draga kíl úr viðeignadi efni í gegnum öll rörin (hafi kapall ekki verið dregin í þau) til þess að ganga úr skugga um að þau séu heil, hafi ekki aflagast eða í þeim séu stíflur.

Í [gr. 10.2 í PT/ASBI M50.3-12^{17\)}](#) er þetta sett fram á eftirfarandi hátt:

Að steypuvinnu lokinni og steypan farin að taka sig skal ganga úr skugga um, að ídráttarrörin séu óskemmd og frí við tálma með því að draga hæfilegan kíl úr styrku efni í gegnum þau. Nota skal kíl með sömu lögun og ídráttarrörin, en með þvermál sem er ~ 6 mm (1/4 tommu) minna en innra þvermál röranna skv. teikningum. Hafa þarf krappa ídráttarröranna í huga varðandi lengd kílins. Kíllinn á að vera auðvelt að draga í gegn með handfli.

Ef grautun dregst:

Í gr. 4.1.1 í Bulletin 75²⁾ er bent á, að skoða þurfi hvort hættu sé á að grautun umhverfis kapla dragist þar sem hættu er á lágu hitastigi og ef svo er að skrifa ákvæði inn í sérverklýsinguna. Möguleiki er á að verja kaplana með vatnsuppleysanlegri olíu eða hringrásu heitu loft, ef svo er, sjá t.d. gr. 2.1.5 í Bulletin 33³⁾, þar sem borinn er saman ávinningur af notkun mismunandi aðferða, sjá einnig Mynd 26.

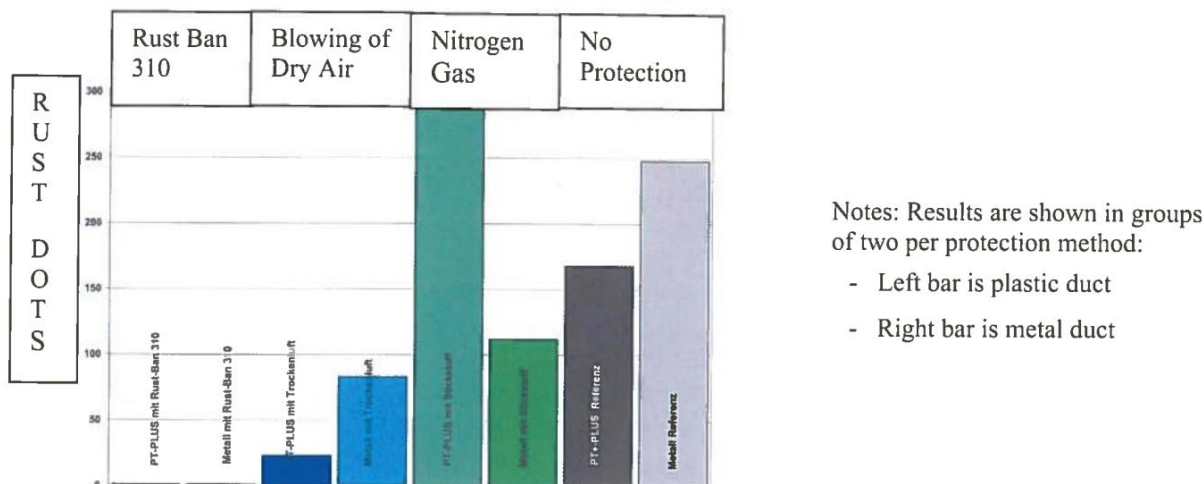


Fig. 2.16: Total rust point counts for different types of temporary corrosion protection (from [29])

Mynd 26 - úr Bulletin 33³⁾, samanburður mismunandi tímabundinna varna

2.9 Kostnaður

Kostnaður kemur fljótlega til tals, þegar rætt er um breytta aðferðafræði og um þann þátt er m.a. fjallað í gr. 1.1 í fib Bulltin 75²⁾:

Athygli er m.a. vakin á lægra viðnámi í þessari gerð ídráttarröra en í stálrörum, sem getur leitt til sparnaðar. Einnig segir að jafnvel þó stofnkostnaður ætti að vera hærri, þegar ídráttarrör úr plasti eru notuð, þá sé sá kostnaður lítill í samanburði við kostnað mannvirkisins í heild og sýna megi fram á að hann borgi sig, þegar kostnaður yfir líftíma mannvirkja er skoðaður.

Däniker hjá Stahlton í Sviss var spurður um kostnað og gaf hann grófar hugmyndir um verðmun á milli aðferða (afhending kapla með festum, uppspenna og grautun), en í Sviss jafngildir Kat. a - PL1, Kat. b - PL2 og Kat. c - PL3 a.m.k. nokkurn veginn:

Kat. a 100%

Kat. b 105 to 110% of Kat. a

Kat. c 125 to 130% of Kat. a

Däniker tekur fram að það sé ekki bara efnið sjálft (verðið á því) sem kemur inn í myndina heldur einnig meðhöndlun mismunandi efna, tenging við festur og framkvæmd samsetninga sem er mismunandi. Þegar um varnarstig Kat. c er að ræða er sérstakarar aðgæslu og eftirlits krafist og sérhæfða fyrirtækið þarf að leggja meiri vinnu af mörkum, þ.e. vinnu sem starfsmenn verktakans eru ekki þjálfaðir til að sinna.

**Ídráttarrör úr plasti -
verksmiðjuframleiddur grautur**
Ransóknarverkefni



3 Lausnir tveggja framleiðenda

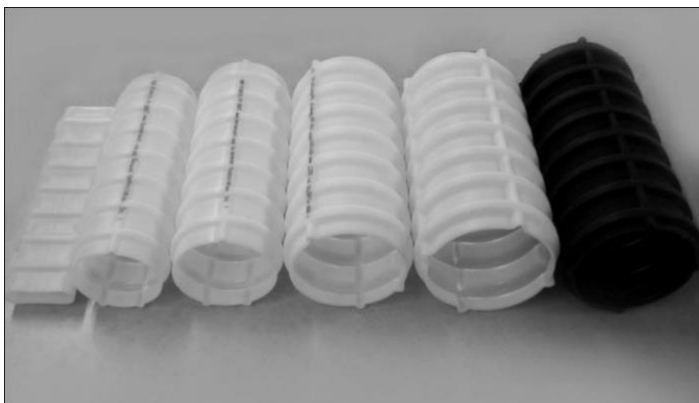
3.0 Almennt

Lausnir frá tveimur þekktum aðilum voru einkum skoðaðar, þ.e. frá BBR VT Int. og VSL. BBR vísaði á fyrirtækið Stahlton AG í Sviss um nánari upplýsingar, en Stahlton er eitt þeirra fyrirtækja, sem hefur umboð eða heimild til þess að nota framleiðslu BBR og er sérhæft í þáttum sem snúa að köplum, þ.e. leggja kapalrör, ídrátt kapla, uppspennu og grautun (PT Specialist Company).

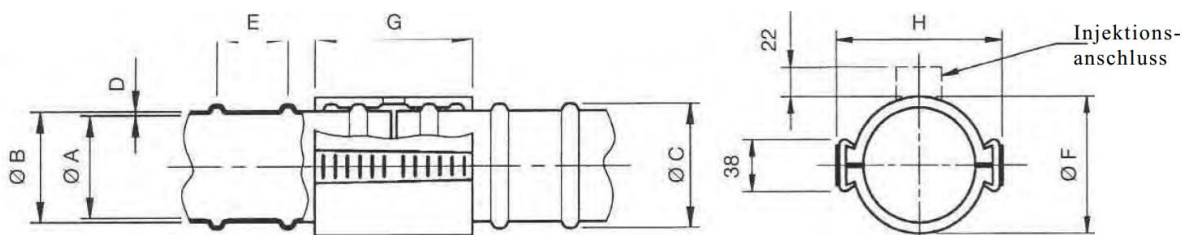
3.1 Lausnir frá BBR - Stahlton AB:

Boðið er upp á lausnir varnarstigum **Kat. a**, **Kat. b** og **Kat. c**, sem jafngilda a.m.k. nokkurn veginn **PL1**, **PL2** og **PL3** eins og áður segir. Í **Kat. b** og **Kat. c** eru annað hvort notuð hvít polypropylen ídráttarrör af gerðinni BBR VT eða svört polypropylen rör af gerðinn PT – PLUS, sjá **Mynd 27** úr **STA – 01/010¹⁴⁾**. Fram kemur að þau séu sett saman í verksmiðju að svo miklu leyti sem kostur er og þá flutt á verkstað á rúllum. Rör í varnarstigi **Kat. b** má setja saman með klemmimúffum, sjá **Mynd 28** úr **STA – 01/010¹⁴⁾**, en rör í varnarstigi **Kat. c** aðeins með herpimúffum, sjá **Mynd 29** úr **STA – 01/010¹⁴⁾**. Ef rörin eru sett á rúllur í verksmiðju er þau soðin saman með spegilsuðu (e: mirror welding).

Keilurnar næst festiplötum eru í báðum varnarstigum úr plasti og sérstaklega tilgreint að herpimúffur séu notaðar til þess að tengja keilurnar við rörin í varnarstigi **Kat. c**. Það kemur ekki fram hjá Stahlton hvernig keilur eru festar við festur, en skv. mynd á vef BBR gæti verið um límda samsetningu að ræða sem þannig kemur frá framleiðanda, sjá **Mynd 30**.

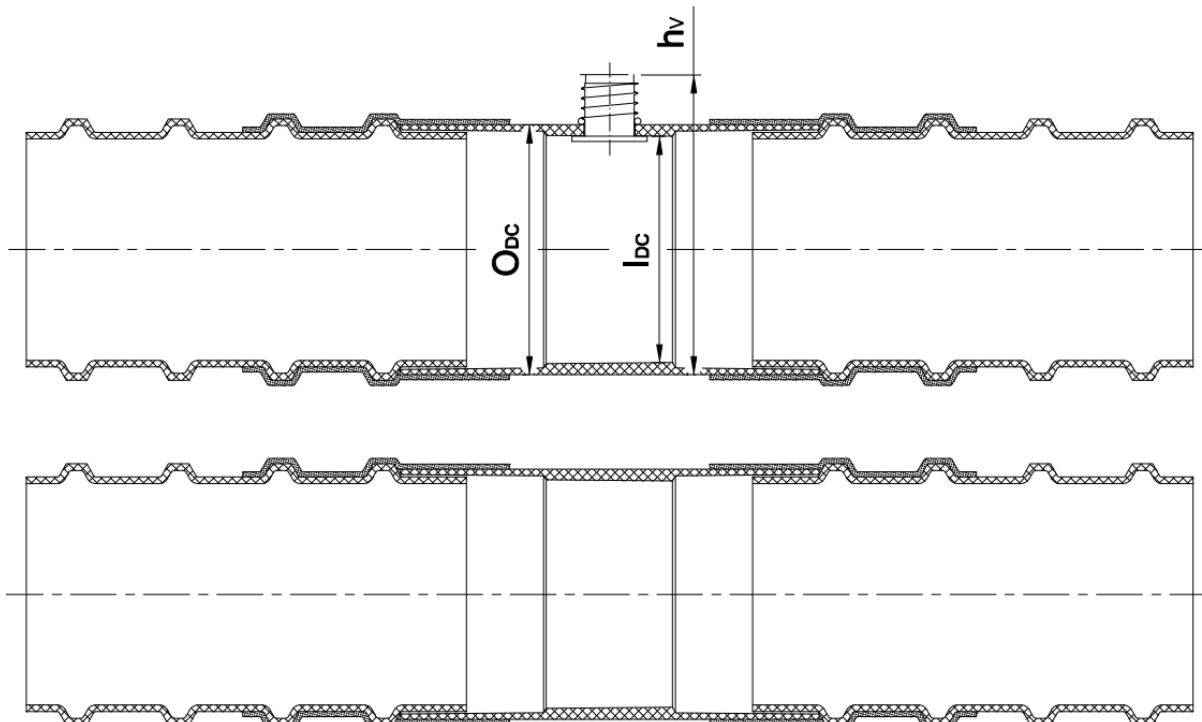


Mynd 27 – rör frá BBR VT (hvít) og PT PLUS svört úr STA – 01/010¹⁴⁾

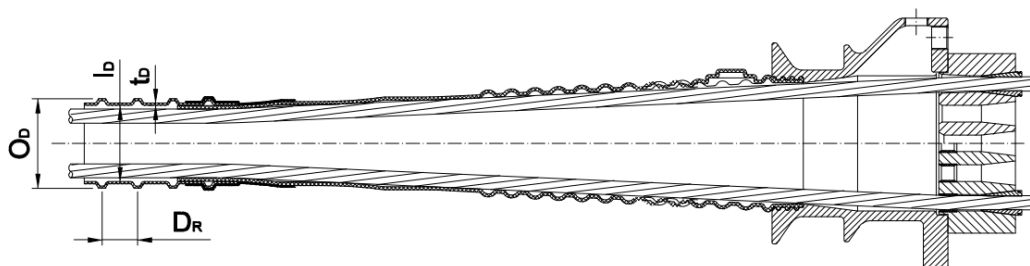


Mynd 28 – samsetning röra með klemmimúffu, úr STA – 01/010¹⁴⁾

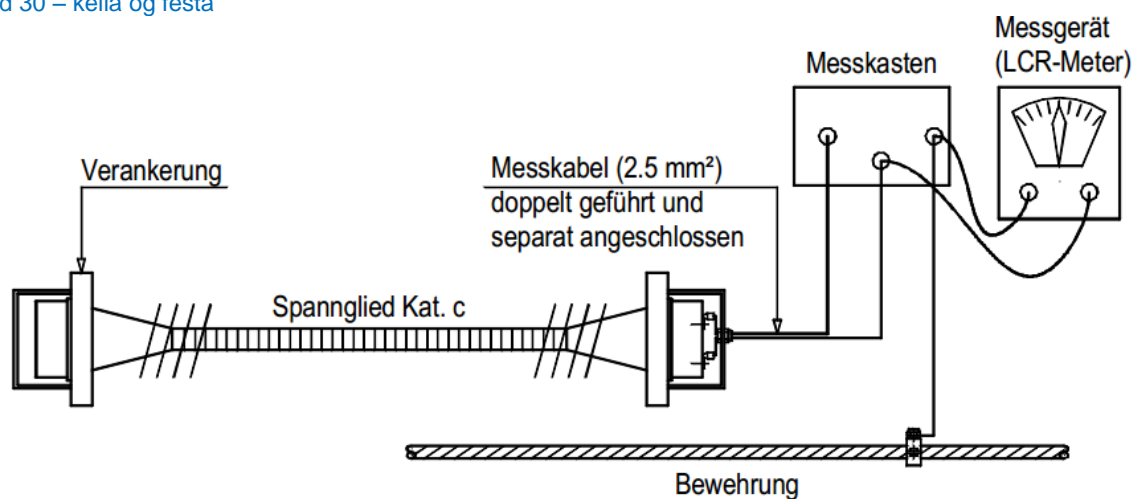
Á **Mynd 31** er dæmi um vöktunarbúnað, sem tengdur er í annan kapalendann, en sjá **Mynd 15** til samanburðar þar sem tengt er í báða kapalenda.



Mynd 29 – úr STA – 01/010¹⁴⁾. Samsetning röra með herpímúffum bræddum með t.d. kósangasi



Mynd 30 – keila og festa



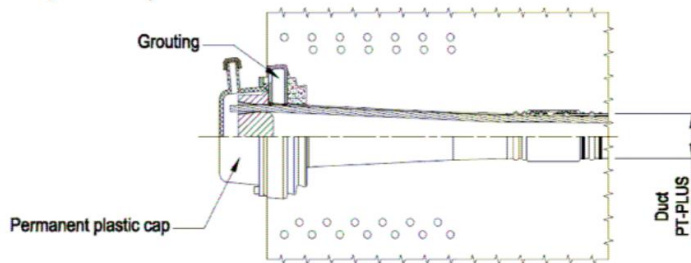
Mynd 31 – úr ASTRA 12 010¹⁴⁾. Dæmi um uppsetningu vöktunarkerfis, sem tengt er í öðrum enda

3.2 Lausnir frá VSL:

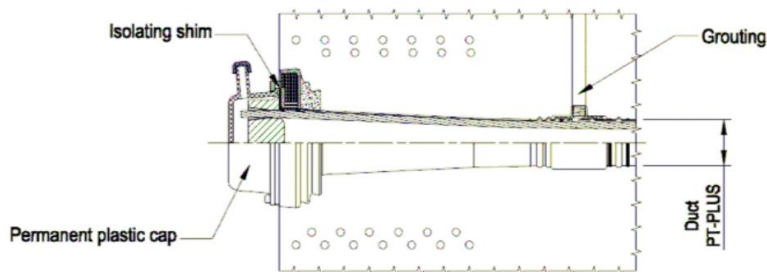
VSL býður upp á lausnir í varnarstigum **PL1**, **PL2** og **PL3** eins og BBR. Í varnarstigi **PL1** er reiknað með að ídráttarrör séu úr stáli. Skv. [ETA-06/0006^{16\)}](#) er í varnarstigum **PL2** og **PL3** notuð PT-PLUS^R ídráttarrör, þ.e. polypropylen rör, sem í báðum tilvikum eru annað hvort sett saman með klemmimúffum eins og sýnt er á [Mynd 28](#) hér að framan eða með spegilsuðu (e: mirror welding). Tenging milli keilu og ídráttarröra getur verið með sérstöku límbandi, herpimúffu eða klemmimúffu, sem ætla má að sé valið m.t.t. aðstæðna.

Í netbæklingi VSL segir m.a. að VSL PT-PLUS^R ídráttarrökerfið sé notað þar sem kaplar eru heftitengdir með graut. Með því að nota þéttan tálma gegn raka séu kröfur um bætta tæringarvörn uppfylltar (**PL2**). Því til viðbótar megi koma fyrir auka búnaði í PT-PLUS^R kerfinu við festurnar, sem leiða til rafeinangraðra kapla (EIT) og varnarstigs **PL3**. Tekið er fram að notkun PT-PLUS^R ídráttarröra fylgi bættir burðapolslegir eiginleikar eftirspenntra kapla undir þreytuálagi, (gr. 6.8 í [EN 1992-2^{15\)}](#)), sjá gr. 2.6 hér að framan. [Mynd 32](#) gefur hugmynd um mismun lausna í varnarstigum **PL2** og **PL3** við festur og til samanburðar er [Mynd 33](#), sem sýnir lausnir fyrir varnarstig **PL1**, **PL2** og **PL3**, en framleiðandi er ekki tilgreindur.

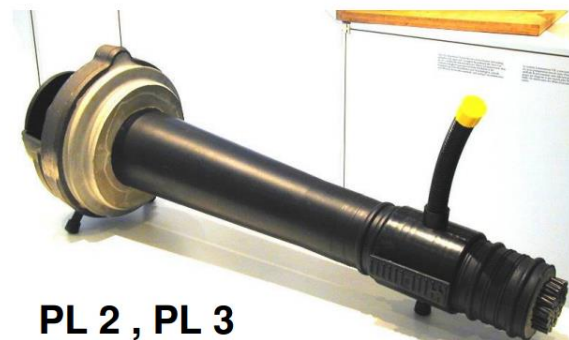
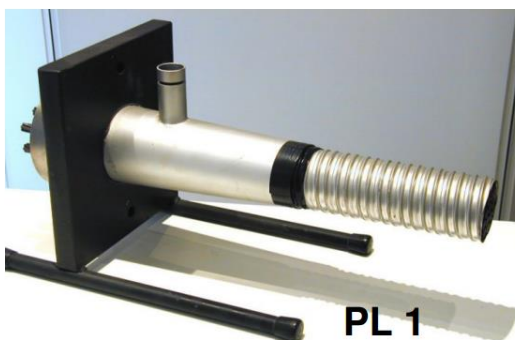
- PLUS Unit (encapsulated)



- SUPER Unit (Electrically Isolated Tendon)



Mynd 32 - endafestur VSL fyrir varnarstig **PL2** og **PL3**



Mynd 33 – endafestur fyrir mismunandi varnastig. Úr kynningu Peter Matt Engineer ETHZ/USIC

3.3 Nokkur myndræn dæmi um lausnir:

Myndirnar hér á eftir eiga almennt við sem lausnir tengdar ídráttarrörum úr plasti.

Mismunandi stólun í krappa háð varnarstigi:

Á Mynd 25 er sýndur stóll sem nota skal, þegar krappi röranna $R < 2 * R_{min}$, en á mynd í **ASTRA 12 010¹³⁾**, er sami stóll sýndur í öðru samhengi hér, **Mynd 34**. Nota má stólinn vinstra megin á myndinni í varnarstigi **Kat. a** (málplata og vír), en þann sem er hægra megin (plaststóll og band úr gerviefni) í varnarstigum **Kat. b** og **Kat. c**.



Abb. II.11: Schutzschalen aus Stahl und Drahtbinder sind bei Spanngliedkategorie b und c nicht gestattet.



Abb. II.12: Schutzschalen und Binder aus Kunststoff.

Mynd 34 – úr **ASTRA 12 010¹³⁾**. Nota má lausnina vinstra megin fyrir varnarstig **Kat. a**, en hægra megin fyrir **Kat. b** og **c**

Plast er viðkvæmt fyrir loga / neistum:

Ídráttarrör úr plasti eru viðkvæmari en málmrörin, en þau eiga að standast ákveðnar kröfur sem sumum er lýst í gr. 2.7 hér að framan. Á **Mynd 35** er ábending um að varast þurfi suðuvinnu og vinnu með slípirokk.



Abb. II.17: Schweißen ohne Schutzmassnahme ist untersagt.



Abb. II.18: Schutzmatte z. Bsp. beim Arbeiten mit der Trennscheibe.

Mynd 35 – úr **ASTRA 12 01¹³⁾** Verjast þarf neistum frá slípirokki og suðum, þegar plaströr eru annars vegar

Dæmi um frágang og tengingu ventla háð varnarstigi:

Á **Mynd 36** eru sýnd dæmi um fráganga ventla fyrir mismunandi varnarstig skv. **fib Bulletin 33³⁾**. Í varnarstigi **PL1** dugir að brjóta rörið og binda saman með vír. Í varnarstigum **PL2** og **PL3** er notuð skrúfuð lok með eða án ventils.



a) Smooth hose closed with tie wire (for PL1 only)

b) Corrugated hose with cap (for PL2 and PL3)

c) Corrugated hose with valve (for PL2 and PL3)

Mynd 36 – úr fib Bulletin 33³⁾, Í varnarstigi PL1 dugir að brjóta rörið og binda saman með vír, en í varnarstigum PL2 og PL3 þarf skrúfuð lok eða lok með ventli

Á Mynd 37 úr fib Bulletin 33³⁾ er dæmi um tengingu ventla við rör háð varnarstigi. Í varnarstigi PL1 er í þessu tilviki notað málmrör og límband á samsetningum, en varnarstigum PL2 og PL3 er allt úr plasti.



a) Corrugated metal duct (for PL1 only)



b) Corrugated plastic duct (for PL2 and PL3)

Mynd 37 – úr fib Bulletin 33³⁾ Dæmi um tengingu ventla við rör – háð varnarstigi

Dæmi um frágang úrtaka fyrir ventla í yfirborði plötu:

Loftventlar úr ídráttarrörum þurfa að komast upp úr yfirborði plötu og nauðsynlegt er að ganga þannig frá þeim, að vatn sitri ekki meðfram rörum á hönnunarlíf tíma mannvirkisins og hafa verður í huga, að grauturinn sjálfur er ekki frostþolinn, þannig að vatn, salt og frost mun grafa sig niður í rörin, ef frágangur er ekki tryggur. Á Mynd 38 er dæmi úr ASTRA 12 010¹³⁾ um hvernig unnt er að taka úrtak og vinstra megin á myndinni og um lokun úrtaksins og rörsins hægra megin. Rétt er að benda á, að yfir lokunina, sem þarna er sýnd kemur þéttilag.



Abb. II.13: Injektionsanschlüsse mit Aussparungskörpern.

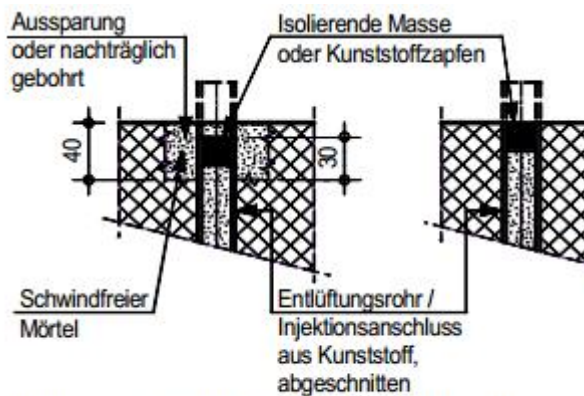


Abb. II.14: Beispiele für das Verschiessen.

Mynd 38 – úr ASTRA 12 010¹³), dæmi um hvernig gera má úrtak og síðan loka því.

Í Florida Departement of Transportaion¹⁹) er því lýst, hvernig gera eigi úrtök, sjá Mynd 39.

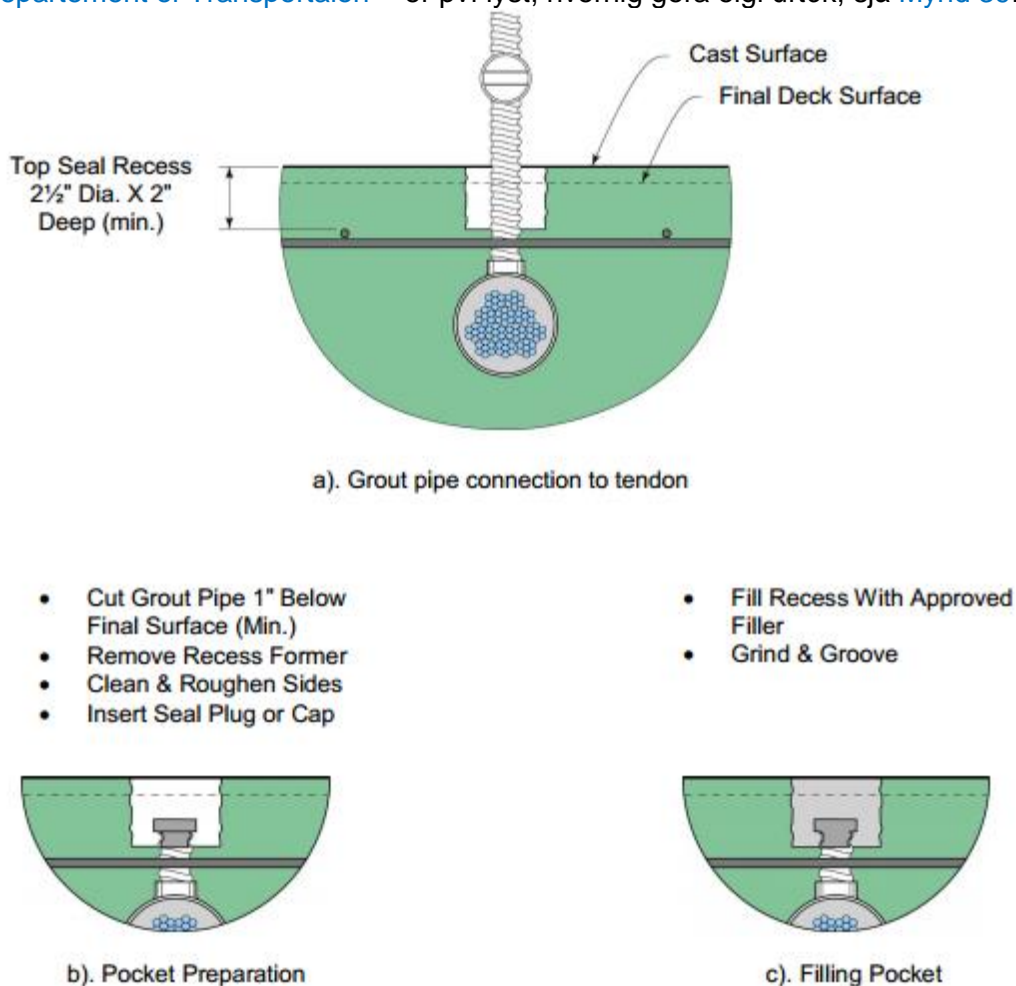


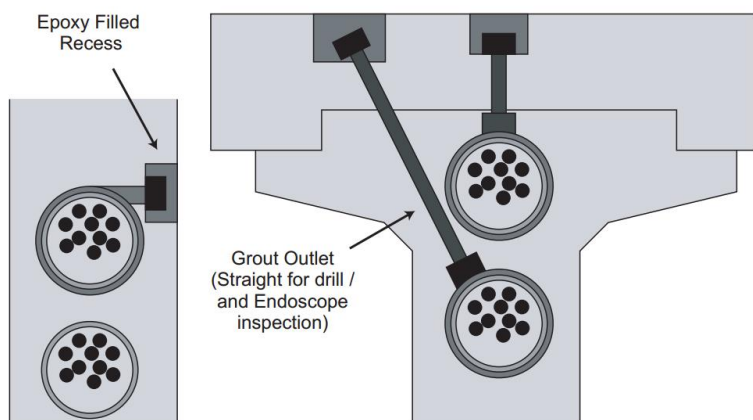
Figure 6.1 – Sealing grout ports and vents in top slabs.

Mynd 39 – dæmi um frágang ventla skv. Florida Departement of Transportaion¹⁹).

Myndinni fylgir svohljóðandi lýsing:

- 1) Þvermál úrtaks; $50 \text{ mm} \leq \text{þvermál} \leq 90 \text{ mm}$
Dýpt frá frágengnu yfirborði $\geq 50 \text{ mm}$ og að teknu tilliti til frágangsvinnu 60 – 75 mm
- 2) umhverfis hvern ventil hvers ídráttarrörs á að vera sjálfstætt úrtak. Ekki gera eitt stórt sameiginlegt stórt úrtak. Milli úrtaka eða frá hlið eins úrtaks að hlið næsta úrtaks á ekki að vera minna bil en 150 mm. Hugmyndin á bakvið þetta er sú, að ef lekt kemst að einu úrtaki sé ekki nema einn kapall í hættu. Ef um fleiri en eitt loftrör er að ræða að sama kapli má sameina þau í einu úrtaki
- 3) yfirborð úrtakanna á að vera hrjúft (e: irregular or corrugated finish) til þess að tryggja aflfræðilega tenginu til viðbótar efnafræðilegri límingu fylliefnis í úrtakið
- 4) móta skal úrtakið með efni sem auðvelt er að fjarlægja svo sem riffluðu plasti (e: polyethylene) eða öðru viðeigandi efni
- 5) þegar bæði fyrra og seinna stig grautar hefur harðnað skal skera grautunarrörið, sem gengur upp úr plötunni í sundur u.þ.b. 25 mm fyrir ofan úrtaksbotninn
- 6) Loka skal rörinu með varanlegum plasttappa eða neglu, sem er annað hvort skrúfuð eða límd við rörið
- 7) fjarlægja skal öll aðkomuefni úr úrtakinu og hreinsa allar hliðar úrtaka inn í heilbrigða steypu, þ.e. hreinsa sementsslamm og veika steypu burt (t.d. með háþrýstipvotti)
- 8) fylla skal sérhvert úrtaka með samþykktu efni með lágan fjaðurstuðul, háan styrk, mikla límingu, sandblönduðum epoxy múr
- 9) í lárétt eða lítt hallandi yfirborð skal nota epoxy blöndu, sem flæðir en með eiginleika eins og lýst er undir lið 8) og leyfa henni að taka sig og herðast vel áður en yfirborðið er unnið
- 10) ef um lóðrétt yfirborð er að ræða sem loftunarrörið gengur í gegnum skal nota stífari epoxyblöndu sem má koma fyrir með mürskeið og tryggð með móti við hæfi, sem límist ekki við epoxyblönduna

Dæmi um útfærslur í [PTTI and Grouting Manual](#)¹⁰⁾.



Mynd 40 - úr [PTTI and Grouting Manual](#)¹⁰⁾

Tvö dæmi um vafasaman frágang loftunarröra í reynd í ljósi lýsingarinnar hér að framan:



Mynd 41 – á myndinni til vinstri hafa úrtökin verið sameinuð í eitt og það markar fyrir sprungum og skemmdum, en á myndinni til hægri vantar allan frágang / lokun röranna

4. Grautur

4.1 Þróun frá „venjulegum“ graut yfir í „sérstakan graut“

Eins og fram kemur í gr. 1.1 beindist athyglin einnig að grautum, þegar skemmdir / gallar fóru að koma fram. Skv. gr. 1.4.3 í [Technical Report No 72^{5\)}](#) var það viðtekin venja í Bretlandi og annars staðar fyrir 1992 að nota sement ætlað til almennra nota í graut blönduðum á verkstað með vatni og íblendi og lýst sem „venjulegum graut“ (e: common grout). Eiginleikar sements af þessari gerð eru breytilegir, sérstaklega milli verksmiðja og niðurstaðan er breytileiki í eiginleikum grautarins. Því til viðbótar er breytileiki í þyngd sementspoka $\pm 2\%$ í 50 kg pokum ekki óalgengur, sem er utan 2% vikmarkanna.

Þessi aðferð að nota „venjulegt“ sement ásamt íblendi og blanda vatni er sú aðferð, sem enn er notuð við grautun í ídráttarrör íslenskra brúa.

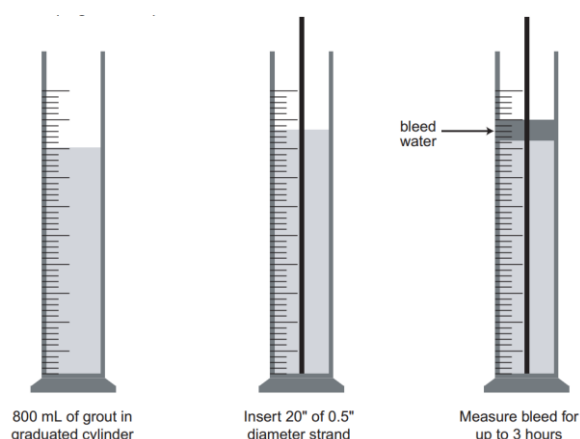
Það reyndist erfiðleikum bundið að viðhalda einsleitni og áreiðanleika „venjulegs grautar“ við allar aðstæður svo sem í breytilegu hitastigi í framleiðslu á staðnum.

Á [Mynd 42 og 43](#) eru dæmi úr annars vegar [PTTI Grouting Manual^{10\)}](#) og hins vegar úr erindi á steinsteypuráðstefnu í Virginíu 2013 og sýna Wick Induced Bleed Test.

Með [Mynd 42](#) í [PTTI Grouting Manual^{10\)}](#) er sagt, að 0,0% blæði eftir 3 tíma í herbergishita sé samþykkjanlegt.

Í glærutexta með [Mynd 43](#) segir:

- fyrir 1995 var grautur í eftirspenntum virkjum blanda af vatni og sementi ($v/s \leq 0,42$) og stundum bætt við þenjandi efni (ber saman við það sem segir hér á undan)
- að fyrir 1995 hafi bæði verið blæðing og aðskilnaður í graut og blæðið var u.þ.b. 4% í vel blönduðum graut (þ.e. v/s – tala $\leq 0,42$) frá tímabilinu
- blæðivatn gufar upp og eftir verður holrými í ídráttarrörunum og grauturinn ver því ekki strengina



[Mynd 42](#) - úr [PTTI and Grouting Manual^{10\)}](#)



[Mynd 43](#) - úr kynningu á steinsteypuráðstefnu í Virginíu

Í Bretlandi fékk vinnuhópur það verkefni að þróa „sérstakan graut“, forpakkaðan graut, með það að markmiði að hann væri einsleitinn og áreiðanlegri, en þó áfram undir gæðaæfirliti og prófunum.

Ransóknarverkefni var sett í gang til þess að:

- þróa endurbættan graut með eiginleikum sem eru stöðugir m.t.t. endurskoðaðrar sérlysingar
- sýna fram á að grauturinn uppfylli kröfur með viðeigandi hætti á verkstað
- rannsaka aðferðir við grautun og vögtun þar á meðal á „grout softness test“
- leggja fram gögn sem uppfylla kröfur Highway Agency um að endurbættur grautur sé nothæfur í brúm

Fram kemur, að grautur sem uppfyllir nýjar virknikröfur sé nú fáanlegur pakkaður á markaði.

Tekið er fram, að ef á verkstað eru notuð efni (sement og íblendi), sem eru undir sérstöku eftirlit gangi eldri aðferðafræðin í stærri verkum, sem geta staðið undir kostnaðinum, sem að því hlýst.

Á [Mynd 44](#) úr [fib Bulletin 33](#)³⁾ er dæmi um 2 próf, þ.e. sigtipróf og flæðipróf. Í sigtiprófinu á 1 l grautar að leka úr sigtinu á ≤ 25 s (fyrri krafa) og í seinna prófinu á flæðið að vera 140 mm í þvermál (fyrri krafa) og í báðum tilvikum strax eftir að grauturinn var blandaður, sjá [ÍST EN 445](#)⁶⁾ og [447](#)⁸⁾.



a) Marsh flow cone



b) US Army Corps of Engineers / FIP flow cone



c) Grout spread test

[Mynd 44](#) - úr [fib Bulletin 33](#)³⁾ sigtipróf á myndunum til vinstri og flæðipróf til hægri

Vottunarkerfi CARES:

Vottunarkerfi CARES (Certification of Environmental Standards) gerir nú kröfu um að aðeins sé notaður verksmiðjuframleiddur grautur, sem vatni er bætt í á verkstað. Mælt er með þessari aðferðafræði bæði í byggingum og brúm.

Tilvitnanir í [Technical Report No 72](#)⁵⁾:

Í [gr. 13.2.2 Grout materials](#) í [Technical Report No 72](#)⁵⁾ segir að samsetning grautarins sé afar mikilvæg og mælt er með að notaður sé forgerður, verksmiðjuframleiddur, grautur, sem aðeins þarf að bæta ákveðnu magni af vatni við á staðnum. Hönnuðurinn skilgreini gerð grautarins sem krafist er. Í öllum tilvikum verði gengið úr skugga um virkni grautarins í hæfiprófi óháð því hvort krafa hefur verið sett fram um próf í fullum skala.

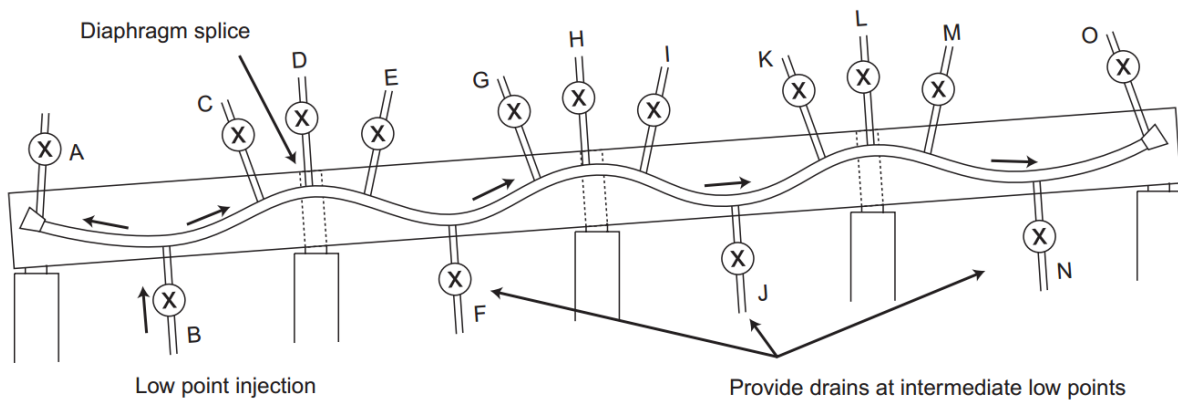
Ef venjulegt pokað sement er notað, getur breytileiki í aldri, efnasamsetningu, fínleika (e: fineness) og hita haft umtalsverð áhrif á virkni grautarins. Því til viðbótar er heimilt í breskum

staðli að sementsþunginn í pokum víki allt að 6% frá markþunganum, sem getur einnig haft umtalsverð áhrif á grautinn

Í kafla 13. Recommendations for specifications for duct and grouting systems for post-tensioned tendons í segir:

Í annari útgáfu Technical Report 47⁴⁾, þ.e. Technical Report No 72⁵⁾, hafði verið tekið tillit til reynslu, sem fengist hafði milli útgáfa í grautarprófum og þróun kerfis, annarri rannsóknarvinnu og alþjóðlegri reynslu. Í framhaldinu voru Evrópustaðlar í þessu sambandi uppfærðir o.m.a. innleiddar ýmsar ábendingar sem settar voru fram í TR 47⁴⁾. Staðlarnir voru ÍST EN 445⁶⁾, ÍST EN 446⁷⁾ og ÍST EN 447⁸⁾.

Á Mynd 45 úr PTTI and Grouting Manual¹⁰⁾ er staðsetning stúta sett fram.. Dælt er inn í lægsta punkti, þ.e. punkti B. Að dælingu lokinni er stútum lokað í röðinni: A, C, F, E, D, G, J, I, H, K, N, M, L, O, B



Mynd 45 - úr PTTI and Grouting Manual¹⁰⁾

Mynd 46 úr State of Florida, Department of Transportation²⁰⁾ skýrir hvers vegna útloftunarpum er fyrirkomioð eins og sýnt er á Mynd 45.

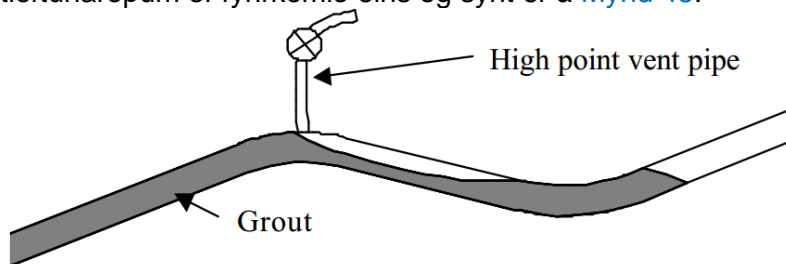


Figure 12, Vent at high point to expel trapped air

Mynd 46 - úr State of Florida, Department of Transportation²⁰⁾

Grautur notaður hjá Stahlton Stahlton AB í Sviss:

Að áliti Däniker hjá Stahlton í Sviss eru gerðar afar strangar kröfur til grautar í nýjustu stöðlunum (frá 2007) í þessu sambandi og nefndir eru hér að framan. Þar séu gerða afar stífar gæðakröfur til grautarins, sem aðeins sé unnt að ná með sérstöku forpökkuðu sementi (e.g. Rheosementi).

Þeir noti sérstakt Holcim sement ásamt með sérstaklega þróðu íblendi, sem sé samþykkt fyrir Sviss. Hann tekur fram, að ekki sé nægjanlegt að fá góð gildi fyrir blæðingu, þenslu og styrk, ef þekking til þess að grauta í ídráttarrörin sé ekki fullnægjandi.



5 Tillaga til umræðu

Aðferðafræði sú sem sett fram í Bulltin 33 og öðrum fræðiritum sem tilgreind eru hér að framan bendir eindregið til þess að varnarstig ídráttarröra í íslenskum brúm ætti a.m.k. í mörgum tilvikum ekki að vera lægra en PL 2 og rörin úr plasti (e: polymer).

Ídráttarrör í varnarstigum PL 2 og PL 3 eru úr 1,5 mm þykku plasti og sett saman með viðeigandi sérhönnuðum tengingum úr plasti og það á einnig við um tengingar loftunar- og ídælingarstúta við þau. Um er að ræða kerfi sérstaklega hannað og hugsað til þessara nota.

Varnarstig PL 3 gæti átt við í sérstökum tilvikum, þar sem mannvirkið er þjóðfélagslega afar mikilvægt og má alls ekki detta úr notkun hvort sem er í lengri eða skemmri tíma.

Það sem einna helst gæti komið á óvart í tengslum við ídráttarrör úr polymer er að halda þarf hámarkshitastigi steypunnar umhverfis þau við uppspennu innan tiltekinna marka, en þau eru prófuð í 45°C hita. Ef haft er í huga að hámarkshiti í steypu á ekki að fara yfir 70°C skv. gr. 8.5 í framkvæmdastaðlinum [ÍST EN 13670^{21\)}](#) og ekki yfir 65°C skv. gr. 5.1.10 í [Model Code 2010 Final Draft^{22\)}](#), þannig að hitastýringar er þörf í massamiklum mannvirkjum eins og brýr Vegagerðarinnar eru að jafnaði, ætti það ekki að vera sérstakt vandamál. Einnig eru oft ákvæði um hámarkshitamun í gegnum steypa byggingahluta í sérverklýsingum og þá gjarnan miðað við að hitamunur í gegnum sniðið sé $\leq 20^{\circ}\text{C}$.

Bent er á að blöndun grauts með því að nota venjulegt markaðssegment og blanda íblöndunarefnum saman við það ásamt vatni fylgir ákveðin áhætta einkum vegna breytileika sementsins og mannlegra mistaka, sem komast má hjá eða draga verulega úr með því að nota verksmiðjuframleiddan graut, sem einungis þarf að blanda vatni saman við á verkstað.

Því er lagt er til að valið verði verkefni þar sem varnarstig PL2 verði notað ásamt versmiðjuframleiddum graut, sem væri fyrsta skrefið í þessa átt og verkefnið væri einnig nýtt til þess að þjálfra mannskap Vegagerðarinnar.

Ef niðurstaðan verður eins og lagt er til þarf að breyta sérverklýsingum og aðlaga að breyttri aðferðafræði og nýjum stöðlum. Ef Vegagerðin vinnur verkefnið sjálf þarf að velja samstarfsfyrirtæki (e: PT Specialist Company), sem uppfyllir ETA – kröfur.

6 Lokaorð

Sérstakar þakkir til Kristjáns Kristjánssonar forstöðumanns Hönnunardeildar Vegagerðarinnar fyrir yfirllestur á frumstigi, ábendingar og athugasemdir og almennan áhuga á verkefninu.



Tilvísanir:

1. [Fib Bulletin 7](#), Corrugated plastic ducts for internal bonded post-tensioning, International Federation for Structural Concrete, Lausanne, Switzerland 2000
2. [Fib Bulletin 75](#) Polymer-duct systems for internal bonded post-tensioning, International Federation for Structural Concrete, Lausanne, Switzerland, 2014
3. [Fib Bulletin 33](#), Durability of post-tensioning tendons, Federation for Structural Concrete, Lausanne, Switzerland, 2006
4. [Technical Report No. 47](#), Durable bonded post-tensioned concrete bridges, The Concrete Society, 1996
5. [Technical Report No. 72](#), Durable Post-tensioned Concrete Structures, The Concrete Society, 2010
6. [ÍST EN 445:2007](#), Grout for prestressing tendons – Test methods, CEN, European Committee for Standardization; Brussel 2007
7. [ÍST EN 446:2007](#), Grout for prestressing tendons – Grouting procedures, CEN, European Committee for Standardization; Brussel 2007
8. [ÍST EN 447:2007](#), Grout for prestressing tendons – Basic requirements, CEN, European Committee for Standardization; Brussel 2007
9. [Project Summary Report 0-1405-S](#), Durability Design of Post-Tensioned Bridge Substructure Elements, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, September 2004
10. [Post-Tensioning Tendon Installation and Grouting Manual](#), Levels of Protection for Corrosion Protection; Federal Highway Administration, 2013
11. [ÍST EN 206-1:2000](#), Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity, CEN, European Committee for Standardization; Brussel 2000
12. [ASTRA 2005](#), Richtlinie, Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen, Bundesamt für Strassen, ASTRA 2005
13. [ASTRA 12 010](#), Richtlinie, Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten, Bundesamt für Strassen 2007, ASTRA 12 010
14. [STA - 01/010](#), Schweizerische Technische Zulassung STA - 01/010, EMPA
15. [ÍST EN 1992-2](#), Design of concrete structures - Part 2: Concrete bridges - Design and detailing rules, CEN, European Committee for Standardization; Brussel 2005
16. [ETA-06/0006](#), European Technical Approval, Júlí 2011
17. [PTI/ASBI M50.3-12](#), Guide Specification for Grouted Post-Tensioning, Post-Tensioning Institute and American Segmental Bridge Institute, 2012
18. [CWA 14648:2003](#), Requirements for the installation of posttensioning kits for prestressing of structures and qualification of the special company and its personell, CEN, European Committee for Standardization; Brussel 2003
19. [Florida Department of Transportation](#), New Directions for Florida Post-Tensioned Bridges
20. [State of Florida, Department of Transportation](#), Grouting of Bridge Post-tensioning Tendons, 2002
21. [ÍST EN 13670:2009](#), Framkvæmdir við steipt mannvirki, European Committee for Standardization; Brussel 2009
22. [Fib Bulletin 65, Model Code 2010, Final draft](#), International Federation for Structural Concrete 2012