

Autorid	Lehekülgi	Kuupäev	Versioon
K. Tabri H. Naar	14	12/05/2010	01

Kommunikatsioonikaevu tugevusanalüüsi raport

Tallinn

Sisukord

1. Üldist	3
2. Lõplike elementide mudel	3
3. Arvutustulemused.....	6
4. Soovitused	10
5. Kokkuvõte	11
6. Viited	12

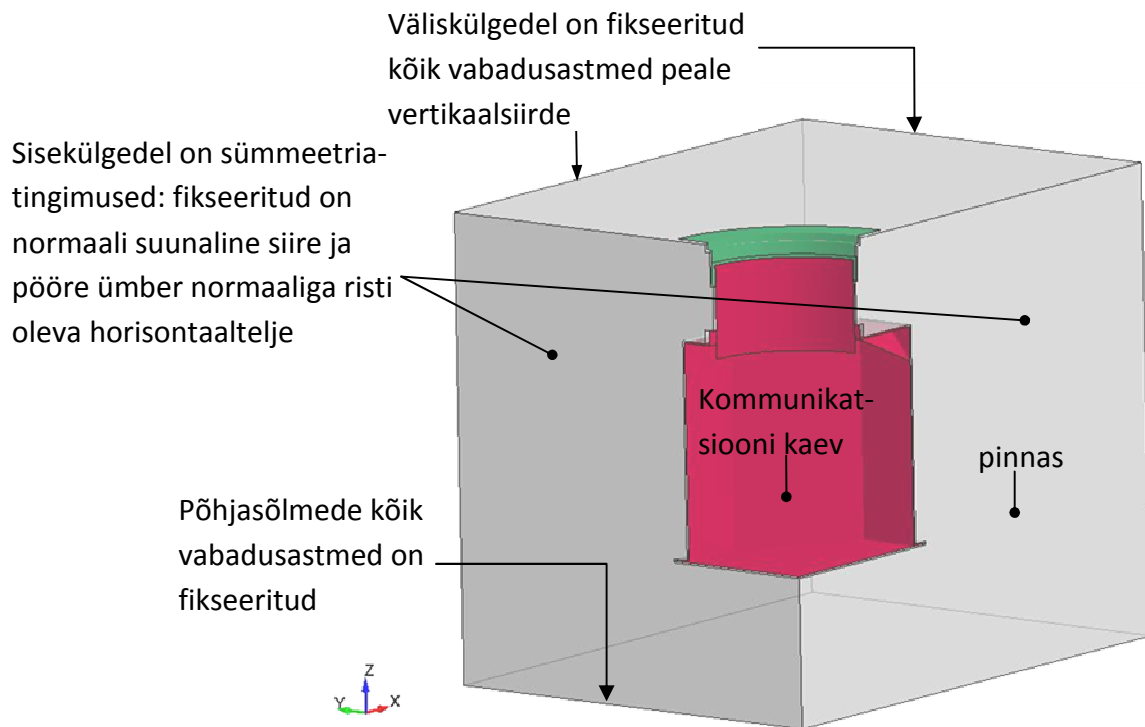
1. Üldist

Raport käsitleb pinnasesse paigaldatud kommunikatsioonikaevu tugevusanalüüsi. Arvutustes on oletatud, et kaevu ümbritseb tihendatud liivapinnas. Kaevu luugile rakendatakse koormus, mis kasvab lineaarselt kuni 400 kN. Kommunikatsioonikaev peab vastu pidama koormusele 125 kN ja koormust kasvatatakse kuni 400 kN selleks, et analüüsida kommunikatsioonikaevu käitumist normkoormusest suurema koormuse korral. Koormus 125 kN on määratud vastavalt EVS-EN 13598-1:2003 standardile (Tabeli 3, klass M). Konstruktsioonis tekkivaid pingeid ja deformatsioone analüüsitakse antud jõu korral.

2. Lõplike elementide mudel

Ääritingimused

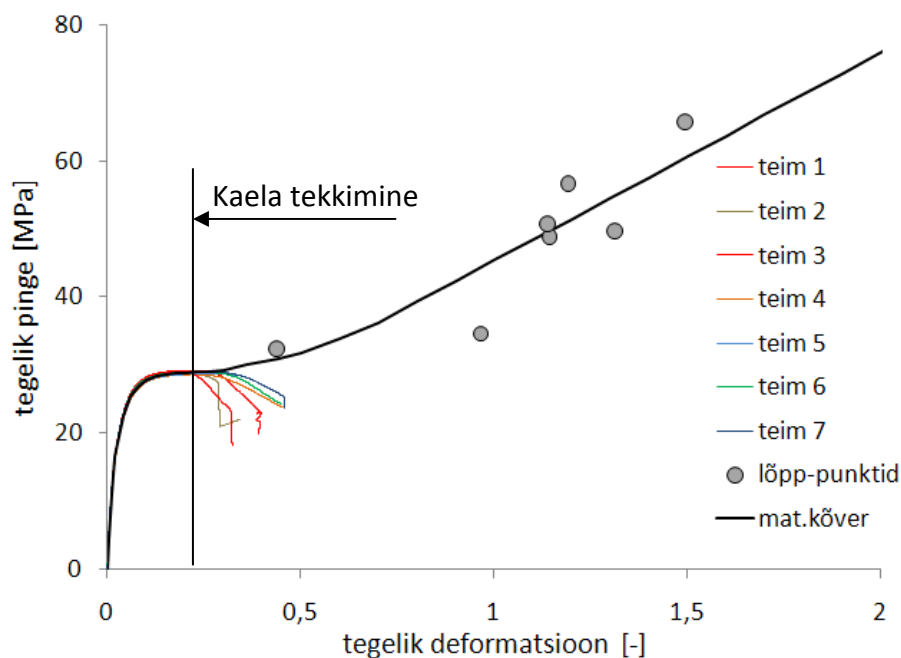
Tugevusanalüüsiks on kasutatud lõplike elementide (LE) meetodil põhinevat LS-Dyna tarkvara. Sümmeetriast tulenevalt on modelleeritud ainult üks neljandik tünnist ja seda ümbritsevast pinnasest. Ülejäänud osa mudelist on asendatud ääritingimustega, mis on näidatud Joonisel 1. Sisekülgedel on kasutatud sümmeetriatingimusi ja väliskülgedel on fikseeritud kõik vabadusastmed väljaarvatud vertikaalne siire. Põhjasõlmede kõik vabadusastmed on fikseeritud. Tünn ja tünni krae on modelleeritud kahemõõtmelisi koorikelemente kasutades ja pinnase modelleerimisel on kasutatud kolmemõõtmelisi ruumalaelemente. Modelleeritud pinnase mõõtmed on 1.79x1.35x 1.57 m (pikkus x laius x sügavus).



Joonis 1. Ääritingimused LE mudelis

Polüetüleen ja pinnase materjalimudelid

Kommunikatsioonikaev on valmistatud polüetüleenist, mille omadused määrati kindlaks tõmbeteimide abil, kus kasutatud katsekehade mõõtmed on esitatud Lisas 1. Kokku kasutati seitset katsekeha, milledele määrati tõmbekatse abil pingedeformatsiooni kõverad. Kuna LE meetodiga tehtud arvutustes kasutatakse tegelikke pingeid ja deformatsioone, siis on nende määramisel tulemustes arvesse võetud katsekeha ristlõike muutust. Saadud tegeliku pingedeformatsiooni kõverad on esitatud Joonisel 2. Katsemasinaga saab materjali deformatsioone määrata kuni kaela tekkimiseni katsekahas. Seetõttu määrati pingedeformatsiooni kõvera lõpp-punktid katsekehade ristlõike pindala ja tõmbejõu abil katse lõpus. Saadud lõpp-punktid on samuti esitatud Joonisel 2 ning nende punktide ja katsest määratud kõverate põhjal koostati materjalikõver, mida kasutati LE simulatsioonides.



Joonis 2. Tõmbeteimide tulemused

Polüetüleeni tiheduseks oli LE arvutustes $\rho=3000 \text{ kg/m}^3$, elastsusmoodul $E=1.5 \text{ GPa}$ ja Poissoni tegur $\nu=0.3$. Voolavuspiiri täpne määramine tõmbeteimides oli keerukas, kuna materjali käitumist kirjeldavas kõveras puudus selge lineaarne osa. Ligikaudne voolavuspiir on hinnanguliselt $\sigma \approx 10\text{-}15 \text{ MPa}$ ja materjalis tekkis kael ligikaudu 30 MPa pinge juures.

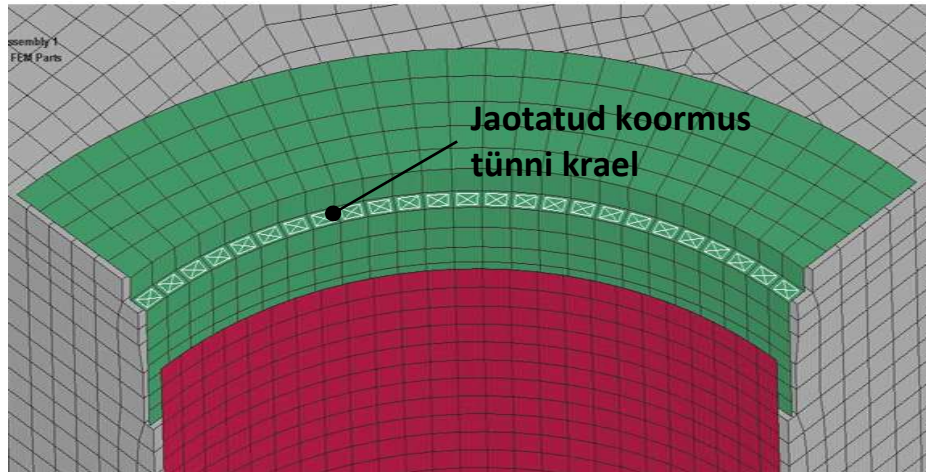
Arvutustes on oletatud, et kommunikatsioonikaev on maetud tihendatud liiva sisse. Liiva modelleerimisel ja pinnase omaduste määramisel kasutati viiteid [2] ja [3]. Pinnas on modelleeritud kasutades LS-Dyna materjalimudelit MAT_FHWA_SOIL [4]. Modelleerimisel kasutatud peamised pinnaseparameetrid on esitatud Tabelis 1. Arvutused on tehtud kolme erineva maht- ja nihkeelastsusmooduli korral võtmaks arvesse pinnaseomaduste varieerumist. Kasutatud parameetrid kirjeldavad suhteliselt pehmet pinnast tagamaks arvutuste konservatiivsuse. Kõik arvutustes kasutatud parameetrid on esitatud Lisas 2.

Tabel 1. Peamised materjaliparameetrid tihendatud liivale

Väärtus	ühik	selgitus
$\rho=2.350$	[ton/m ³]	tihedus
$K=11, 15, 19$	[MPa]	mahtelastsusmoodul
$G=7, 9, 11$	[MPa]	nihkeelastsusmoodul
$\phi=0.524$	[rad]	Sisehõordenurk (30 kraadi)

Koormus

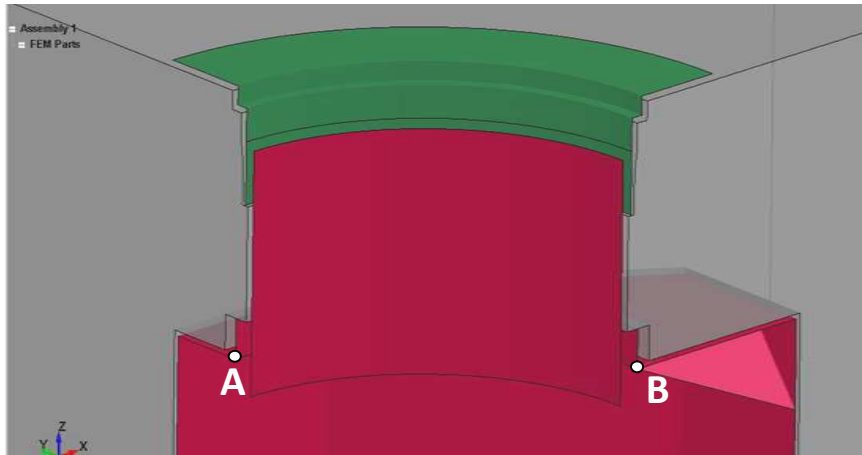
Vastavalt viites [1] toodud Tabelile 3 on kommunikatsioonikaevule rakendatav koormus 125 kN (klass M). Koormus on rakendatud ühtlaselt jaotatud koormusena luugi kraele vastavalt Joonisele 3. On oletatud, et koormus 125 kN rakendub 0.125 sekundi jooksul. Seejärel tõstetakse koormust lineaarselt kuni 400 kN ja analüüsitakse kommunikatsioonikaevu deformatsioone. Koormus 400 kN rakendub 0.4 sekundi jooksul. Lisaks mõjutab kogu mudelit gravitatsioon.



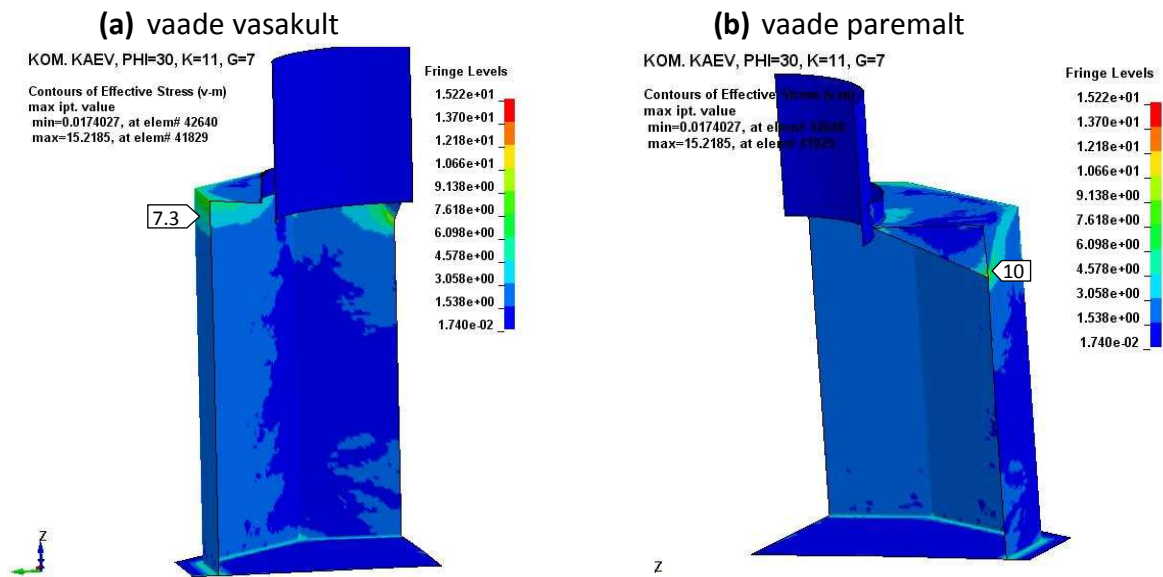
Joonis 3. Jaotatud koormus

3. Arvutustulemused

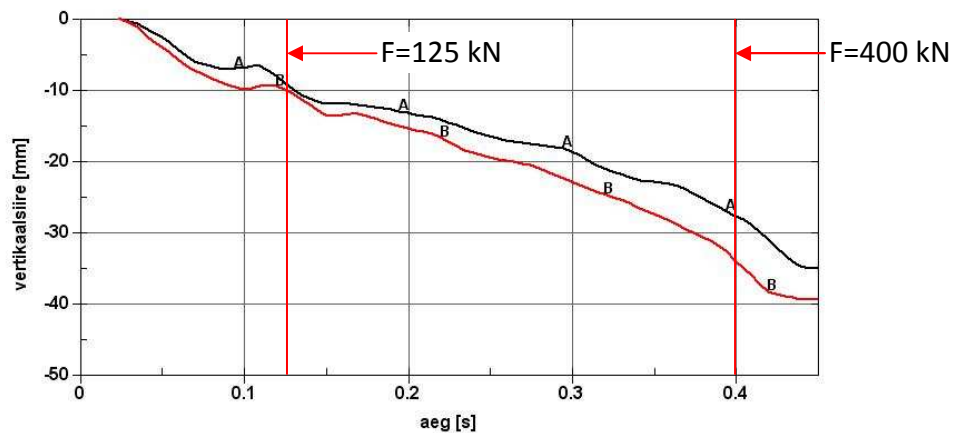
Arvutustulemused on esitatud ekvivalentpingete (von Mises) jaotusena ning punktide A ja B vertikaalse läbipaindena (Joonis 4). Kõige pehmem pinnasega tehtud arvutuste tulemused on esitatud Joonistel 5 ja 6. Joonisel 5 on näha, et maksimaalsed ekvivalentpinged on jäigastaja ja kaevu sein liitumiskohas, kus pinged on ligikaudu 10 MPa. Joonis 6 esitab vertikaalset läbipainet kaevu ava servas, kus maksimaalne läbipaine 400 kN korral on ligikaudu 40 mm.



Joonis 4. Sõlmpunktid vertikaalse läbipainde määramiseks.

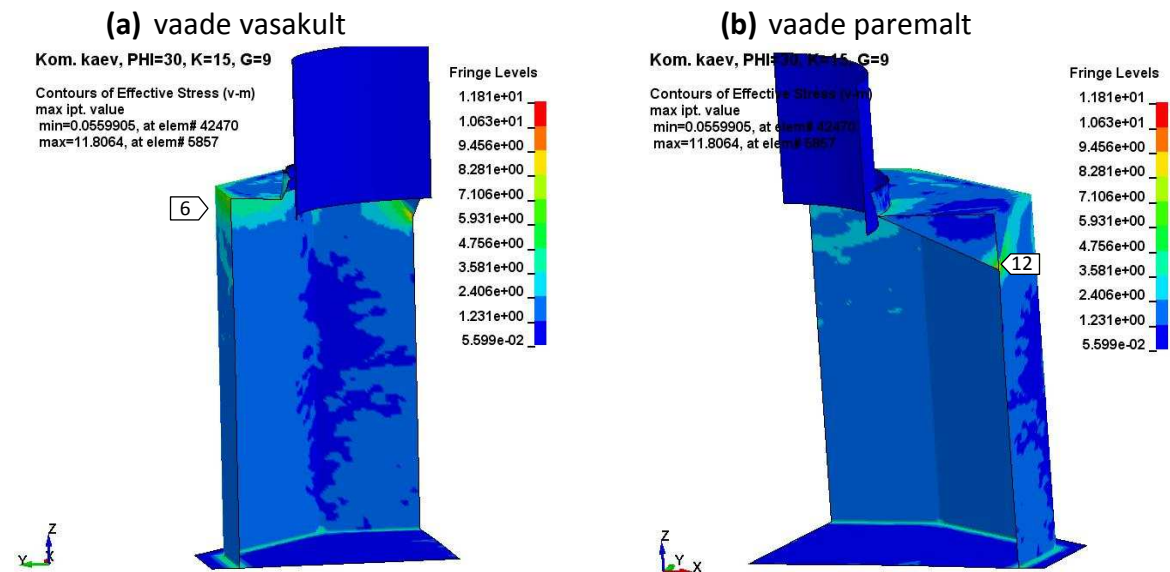


Joonis 5. Ekvivalentpingete jaotus kaevus koormuse 125 kN ja kõige pehmema pinnase korral ($K=11$ MPa, $G=7$ MPa).

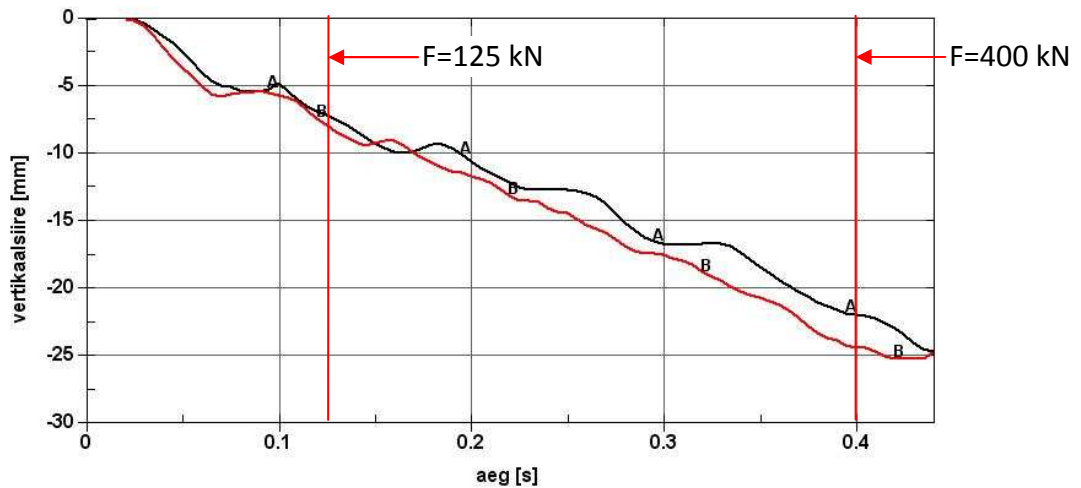


Joonis 6. Vertikaalne läbipaine sõlmedes A ja B kõige pehmema pinnase korral ($K=11$ MPa, $G=7$ MPa).

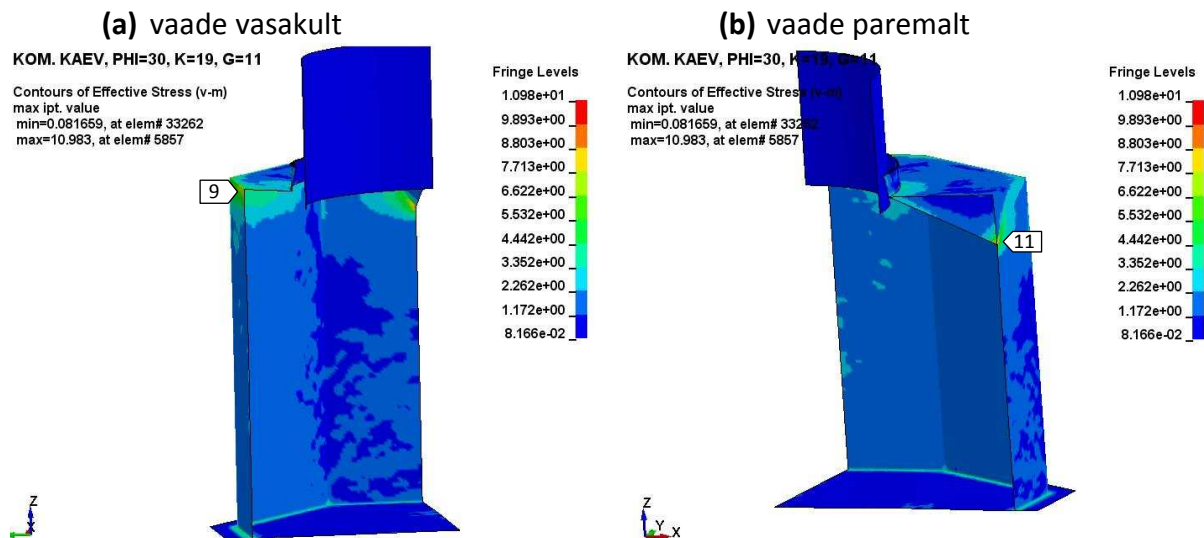
Arvutustulemused keskmise jäikusega pinnase korral on esitatud Joonistel 7-8 ja kõige jäigema pinnase korral Joonistel 9-10. Pinnase jäikuse suurenedes kannab pinnas suuremat osa koormusest ja pinged kaevu seinas ning kaevu läbipaine ja -nõtke väheneb. Samas ületavad lokaalsed pinged voolavuspiiri või kõigi arvutuste korral. Pinged on suurimad nurgajäigastaja ja kaevu vertikaalseina ühenduskohas.



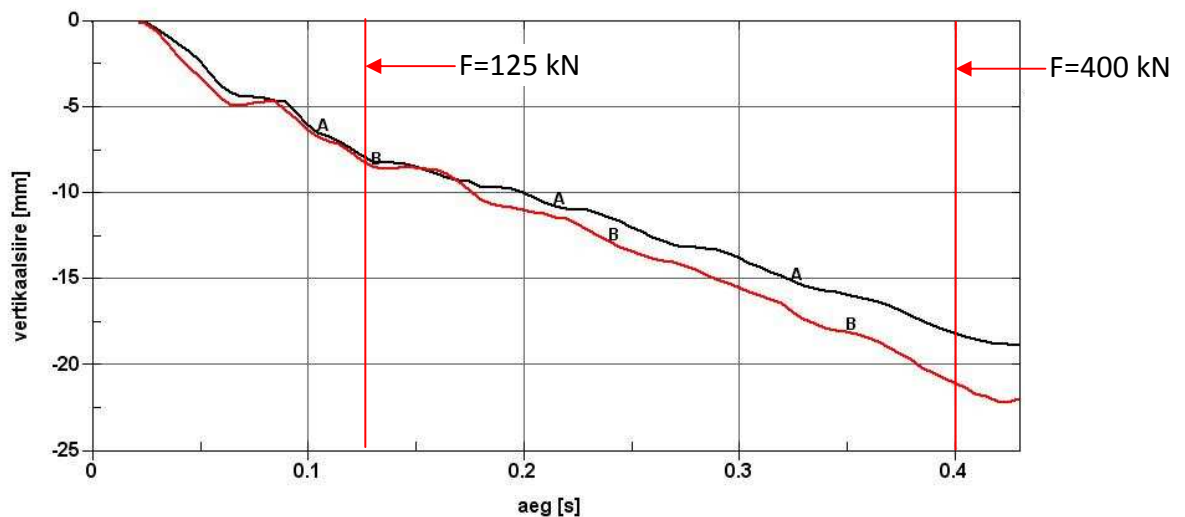
Joonis 7. Ekvivalentpingete jaotus kaevus koormuse 125 kN ja keskmise jäikusega pinnase korral (K=15 MPa, G=9 MPa).



Joonis 8. Vertikaalsiirded sõlmedes A ja B keskmise jäikusega pinnase korral (K=15 MPa, G=9 MPa).



Joonis 9. Ekvivalentpingete jaotus kaevus koormuse 125 kN ja kõige jäigemal pinnasel korral (K=19 MPa, G=11 MPa).

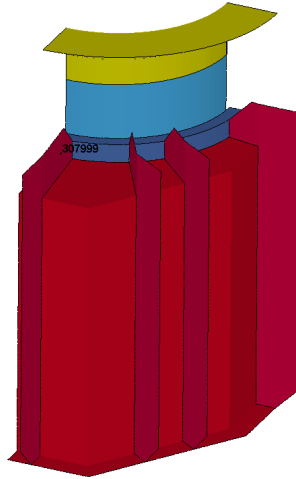


Joonis 10. Vertikaalsiirded sõlmedes A ja B kõige jäigemal pinnasel korral (K=19 MPa, G=11 MPa).

4. Soovitused

Kommunikatsioonikaevus tekkivate pingete madaldamiseks võiks kasutada sisse keevitatavate põlvede asemel väliseid jäigastusribisid. Nende eeliseks on lihtne paigaldus ja parem efektiivsus pingete seisukohalt. Käesolevas konstruktsioonis lõpeb põlve tipp keset seinaplaadistust, mis tekitab pingekontsentratsiooni. Jäigastusribide korral on jäigastus

jätkuv alates kaevu kraest ja lõppedes kaevu põhjas. Vertikaalsed ribad jäigastavad ka tünni seinu ja tagavad selle parema stabiilsuse. Näide tünni jäigastusest on esitatud joonisel 11. Kõigest koolimata täidab ka praegune lahendus vajalikud nõuded.



Joonis 11 . Tünni seinu soovitatav jäigastus.

5. Kokkuvõte

Käesolev dokument sisaldab tihendatud pinnasesse paigaldatud polüetüleenist kommunikatsioonikaevu tugevusarvutusi. Kommunikatsioonikaevu kraele on rakendatud koormus 125 kN, mis vastab EVS-EN 13598-1:2003 standardi klassile M. Rakendatud koormuse korral tekivad kaevus pinged, mis ei ületa polüetüleenilise voolavuspiiri. Suurimad pinged tekivad kommunikatsioonikaevule lisatud põlvede tippudes. Polüetüleenilise voolavuspiiriks võiks võtta 15 MPa. Kommunikatsioonikaevu kraele rakendatud jõud 125 kN tekitab ekvivalentpingeid, mis jäävad alla 10 MPa. Pinge olukord ei muutu oluliselt ka vähem tihedama pinnase korral. Seega võib öelda, et vaadeldav kaev suudab koos pinnasega kanda koormust 125 kN ehk 12.7 tonni. Oletades, et Eesti teedel on suurim lubatud teljekoormus 10 tonni ja kommunikatsioonikaevule saab korruga sattuda üks rattapaar (koormus 5 tonni), saab väita, et hästi tihendatud pinnase korral kommunikatsioonikaevu tugevus piisav.

6. Viited

[1] Eesti Standardikeskus. Plastic piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage – Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) – Part 1: Specifications of ancillary fittings including shallow inspection chambers. Eesti Standard EVS-EN 13598-1:2003

[2] Wang J, 2001; Simulation of Landmine Explosion Using LS-DYNA3D Software: Benchmark Work of Simulation of Explosion in Soil and Air, DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory, Report DSTO-TR-1168, Australia, p.30.

[3] Evaluation of LS-Dyna soil material 147, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, publicaiton FHWA-HRT-04-094. Saadaval leheküljel: www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/04094/04094.pdf

[4] LSTC. LS-DYNA Keyword User's Manual. Livermore Software Technology Corporation. Saadaval leheküljel: http://lstc.com/pdf/ls-dyna_971_manual_k.pdf.

Lisa 1. Katsekehade mõõtmed

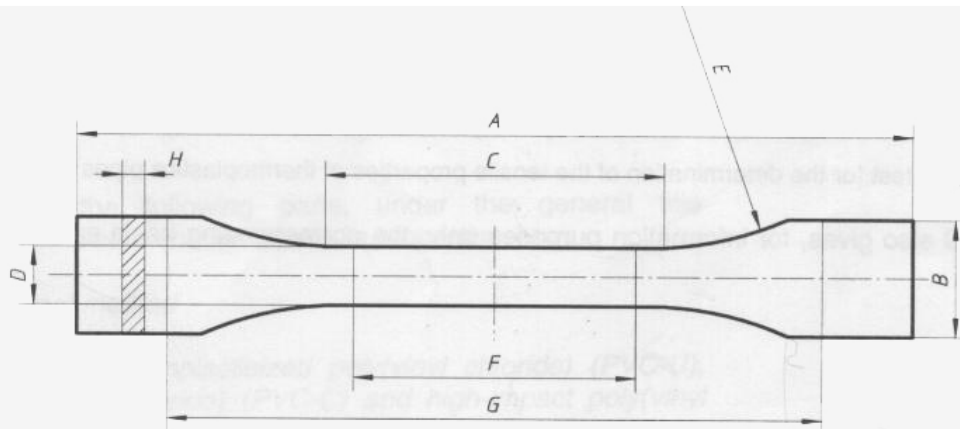


Table 1 — Dimensions of type 1 test pieces

Symbol	Description	Dimensions mm
<i>A</i>	Overall length (min.)	150
<i>B</i>	Width of ends	$20 \pm 0,2$
<i>C</i>	Length of narrow, parallel-sided portion	$60 \pm 0,5$
<i>D</i>	Width of narrow, parallel-sided portion	$10 \pm 0,2$
<i>E</i>	Radius	60
<i>F</i>	Gauge length	$50 \pm 0,5$
<i>G</i>	Initial distance between grips	$115 \pm 0,5$
<i>H</i>	Thickness	That of the pipe

Lisa 2. Pinnase modelleerimisel kasutatud parameetrid ja nende (inglise keelne) kirjeldus

RO=2.350	[ton/m ³]	Mass density
NPLOT=1		Plotting options
SPGRAV=2.65	[-]	Specific Gravity of Soil used to get porosity [3]
RHOWAT=1.0	[ton/m ³]	Density of water
Vn=1.1*		Viscoplasticity parameter
GAMMAR=0*		Viscoplasticity parameter
INTRMX=4		Maximum number of plasticity iterations
K=11	[MPa]	Bulk Modulus
G=7	[MPa]	Shear modulus
PHIMAX=0.524	[rad]	Peak Shear Strength Angle (friction angle)
AHYP=5.37e-4		Coefficient A for modified Drucker-Prager Surface[3]
COH=6.2e-3		Cohesion [3]
ECCEN=0.7		Eccentricity parameter for third invariant effects [3]
AN=0		Strain hardening parameter
EN=0		Strain Hardening parameter
MCONT=0.034		Moisture Content of Soil
PWD1=0		Parameter for pore water effects on bulk modulus
PWKSK=0		Skeleton bulk modulus-
PWD2=0		Parameter for pore water effects on the effective pressure
PHIRES=1e-3		The minimum internal friction angle, radians (residual shear strength)
DINT= 0.00001		Volumetric Strain at Initial damage threshold
VDFM=6e-5		Void formation energy
DAMLEV=0.99		Level of damage that will cause element deletion
EPSMAX=2		Maximum principle failure strain

* parameetrid kirjeldamaks materjaliomaduste sõltuvust koormamiskiirusest. Nimetatud sõltuvust ei ole arvutustes arvesse võetud.