

Návrh čerpadlové turbíny pro MVE Křižanovice

Technická zpráva

Objednatel: PS PROFI s.r.o.
Dalibor Fiala
Traubova 1546/6
602 00 Brno

Dodavatel: Ing. Jiří Šoukal, CSc.
Mišákova 456/24
779 00 Olomouc
ČKAIT 1200767



Čerpadlová turbína pro MVE Křižanovice

1. Účel, výměry a požadavky na novou turbínu

Stávající technologie MVE využívá turbínu Francis F30H. Provozován je stálý průtok – odpouštění MZP z nádrže, není nutná regulace výkonu, průtoku turbínou. Je požadována odolnost k zanášení turbíny nečistotami organické a anorganické povahy. Turbína musí dále využít stávající generátor a elektrovýbavu a implementace s minimálními úpravami konstrukční a hydraulické části.

1.1 Parametry lokality

- hladina horní 404,10 Max. (resp. 402,10 – zima)
 396,10 Stálá hladina nadržení
- spodní hladina 385,10
- Geodetický spád 19,0 (m) max. (17,0 m zima)
 11,0 (m) min.

Průtok – hlnost turbíny 390 (l/s) stálý průtok

Předaná dokumentace

- DISPOZICE MVE A SPODNÍCH VÝPUSTÍ DN 600, č.v. AO-1655-OOB
- ÚPRAVA NÁTOKU, SV DN 600-MVE, č.v. A1-1831-OOU
- ČISTÍCÍ KUS č.v. A2-1893-OO

1.2 Očekávané – požadované parametry turbíny

- Spád 18 (m)
- Průtok 390 (l/s)
- Otáčky 1020 (1/min)
- Výkon na hřídeli 51 (kW)

Související požadavky:

- zachování stávajícího strojního vybavení a generátoru
- náhrada servopohonu rozváděče F30H hydraulickou klapkou schopnou provozního řízení a ovládání stávajícím systémem.

2. Návrh čerpadlové turbíny

Posouzením širokého sortimentu čerpadlových turbín (ČT) SIGMA (pod pojmem ČT se rozumí čerpadlo vyvinuté pro turbínový provoz se zaručenými, odměřenými parametry) se jeví nevýhodnější typová řada DET výrobce SIGMA Pumpy Hranice. Tyto stroje jsou robustní konstrukce, se spirální skříní a diagonálním oběžným kolem. Absence lopatkového rozváděče včetně vzpěrných lopatek zajišťuje velmi malou citlivost na zanášení průtočných částí a malý hydraulický odpor stroje. Stroje bez natáčecích lopatek jsou aplikovány pro případy stálých parametrů průtoku a výkonu.

2.1 Určení typorozměru ČT

Ve shodě s předtipováním fy PS Profi je potvrzena volba typorozměru DET-350.

2.2 Výkonové parametry

Čistý spád na turbínu – $H_{\max} = 19,0 - 1,0 = 18 \text{ m}$

tato hodnota vychází z výpočtu ztrát již nové projekce [2], P3a,b napouštěcího potrubí. Výpočet je u zpracovatele. Výsledná ztráta 1,0 m, $Q_{\max} = 390 \text{ l/s}$. Nižší hodnoty spádu nejsou korigovány.

	H (m) (Y (J/kg))	Q (l/s)	ETA (%)	P (kW)
Max	18,0 (176,6)	390	74,0	51,0
M zima	17,0 (166,8)	382	74,5	47,5
Min	11,0 (107,9)	328	74,0	26,2

Graficky jsou parametry vyjádřeny v turbínové charakteristice DET-350 na příloze P1. Z grafů je zřejmé, že ČT bude provozována v širokém rozsahu spádů stále v oblasti maximální účinnosti, což zajistí vysoký výkon a klidný chod stroje.

2.3 Průběžné, volnoběžné otáčky

Průběh je graficky řešen a vyznačen v grafu charakteristik (P1) jako průsečík volnoběžné charakteristiky potrubí s parabolou $M = 0$. Reálná hodnota je snížena o odhad ztrát (ventilátor, pasivní odpory).

Potom $n_p \div 1950 \text{ (1/min)}$

$Q_p \div 450 \text{ (l/s)}$

Soustrojí volnoběh krátkodobě akceptuje, cca 30 s, automatické zavření při ztrátě zátěže. Při selhání automatiky nutno zavřít ručně, agregát vydrží delší čas volnoběhu.

Alternativní určení n_p : Nechleba [1] uvádí pro specifické otáčky $n_s = 266 \text{ (1/min)}$ hodnotu $n_s = 1,8 \text{ m} = 1,8 \cdot 1020 = 1836 \text{ (1/min)}$, tedy příznivější nižší o cca 100 (1/min)

2.4 Sací výška, bezkavitační provoz

Určení sací výšky je důležité pro zajištění bezkavitačního provozu, který je nutný pro vyloučení kavitační eroze pracovních částí, zejména rotoru a dalších nežádoucích projevů – tlakové pulzace.

Sací výšku HS stanovíme výpočtem dle Nechleby [1], str. 55

$HS = HB - SIG \times H \text{ (m)}$ kde HB ... místní barometrický tlak (m.v.sl.)

$HB = 10 - h/900$, h ... místní nadmořská výška

Dosažením:

$HS = 9,56 - 0,24 \times 19 = 5,0 \text{ m}$

SIG ... Thomův kavitační součinitel je funkcí specifických otáček n_s

dle vztahu: $n_s = 3,65 \text{ m Q ex } 0,5 / \text{Hex } 0,75 = 266 \text{ (1/min)}$

Dosazením: $n_s = 266$ (1/min) pro $H = 19$ m
pro $n_s \Rightarrow \text{SIG} = 0,24$ [1], str. 101
 $h = 400$ m.n.m. $\Rightarrow \text{HB} = 9,56$ (m v.sl.)

Doporučuje se využít řešení savky, celé dispozice z F300 s přispůsobením k výstupnímu hrdlu DN 350, PN 10 ČT DET-350.

Navržené řešení vycházející z DN 350, kolena DN 350/90° a savkou DN 350/700 – 2512 dispozičně vyhovuje.

Z dispozice umístění ČT ke spodní hladině jsou:

- kóta osy rotoru ČT + 387,18 m.n.m.
- kóta spodní hladiny + 385,10 m.n.m.

Potom $\text{HS} = 2,08$ m vyhovuje s velkou rezervou (< 5 m).

3. Mechanická část ČT DET-350

Z výkonů turbíny ve výše uvedeném provozním rozsahu plyne velké zatížení mechanické části. Zvláště v očekávání podstatné doby provozování při maximálním výkonu.

Z důvodu nedostupnosti zesílené varianty mechaniky bylo zvoleno provedení se standardním kozlíkem (mechanikou) s následujícími úpravami:

- volba nej kvalitnějších ložisek – SKF I. třídy
- vestavba chlazení olejové náplně kozlíku provozní vodou, technické řešení dohodnuto v SPH.

Příklad vestavby chladiče je vidět na příloze P2. Šroubení a měděná trubka je velikosti 1/2". K napájení bude použita provozní voda hadicí pletenou 1" odebranou z vhodného místa přívodního potrubí s minimem nečistot. Dále osadit ventil a hrubý vodní filtr. Průtok nastavit dle teplotního čidla oleje $t < 65$ °C. Pracovní tlak – spád – cca 1,5+0,2 bar (0,15 MPa) je dostatečný pro zajištění chlazení. Odpad chladicí vody odveden do vývaru.

Řešení již aplikováno několikrát. Hlavní turbínová reference je MVE Mengusovce – hrubý spád 18 mm 9 roků provozu, cca 60 tis. hodin, velikost DET-250, náš případ DET-350 je dispozičně příznivější.

4. Tlaková dynamika, vodní ráz

Čas náběhu potrubí $T_{2L} = 2L/a = 2 \times 30/850 = 0,07$ (s)

a ... rychlost zvuku, cca 850 m/s, odhad ve vodě s mikrobublinami

L ... délka potrubí, L cca 30 m

Vodní ráz nehrozí, čas automatického uzávěru je téměř o dva řády větší. Stoupnutí tlaku v řádu jednotek procent by nastalo při selhání protirázové ochrany.

5. Dispoziční řešení

Řešení PS PROFI plně vyhovuje v části sací. Umístění turbíny DET-350 na rámu bude téměř shodné výškově s úpravami minimálními i osově. Naopak přívodní, napouštěcí potrubí musí být přivedeno shora do vertikálně situovaného vstupního hrdla turbíny.

Je doporučeno otočit koleno DN 350 - 90° o 90° do polohy s výstupem nahoru, následně doplnit vertikálně stoupající rouru DN 350 s navazujícím kolenem DN 350 - 90°, vodorovnou částí potrubí a kolenem DN 350 - 90° se sestupnou částí ukončenou přírubou DN 350, PN 10 navazující na shodnou přírubu hrdla turbíny. Doplněná část potrubí celkově ve tvaru obráceného U musí být podepřena. Doporučuje se vložení dilatačního kusu, nejlépe do vodorovné části – navíc dvě příruby DN 350, PN 10.

Dále se doporučuje instalovat do vodorovné nebo vzestupné části DN 350 potrubí uzavírací klapkou DN 350 s elektropohonem a použít ji jako uzávěr při provozním spouštění a provozním odstavení agregátu v automatickém režimu. Stávající armaturu potom ponechat pro automatické poruchové havarijní odstavení.

Uspořádání technologie je na příloze P3a,b, rozměrový náčrt DET-350 na příloze P4.

6. Závěr

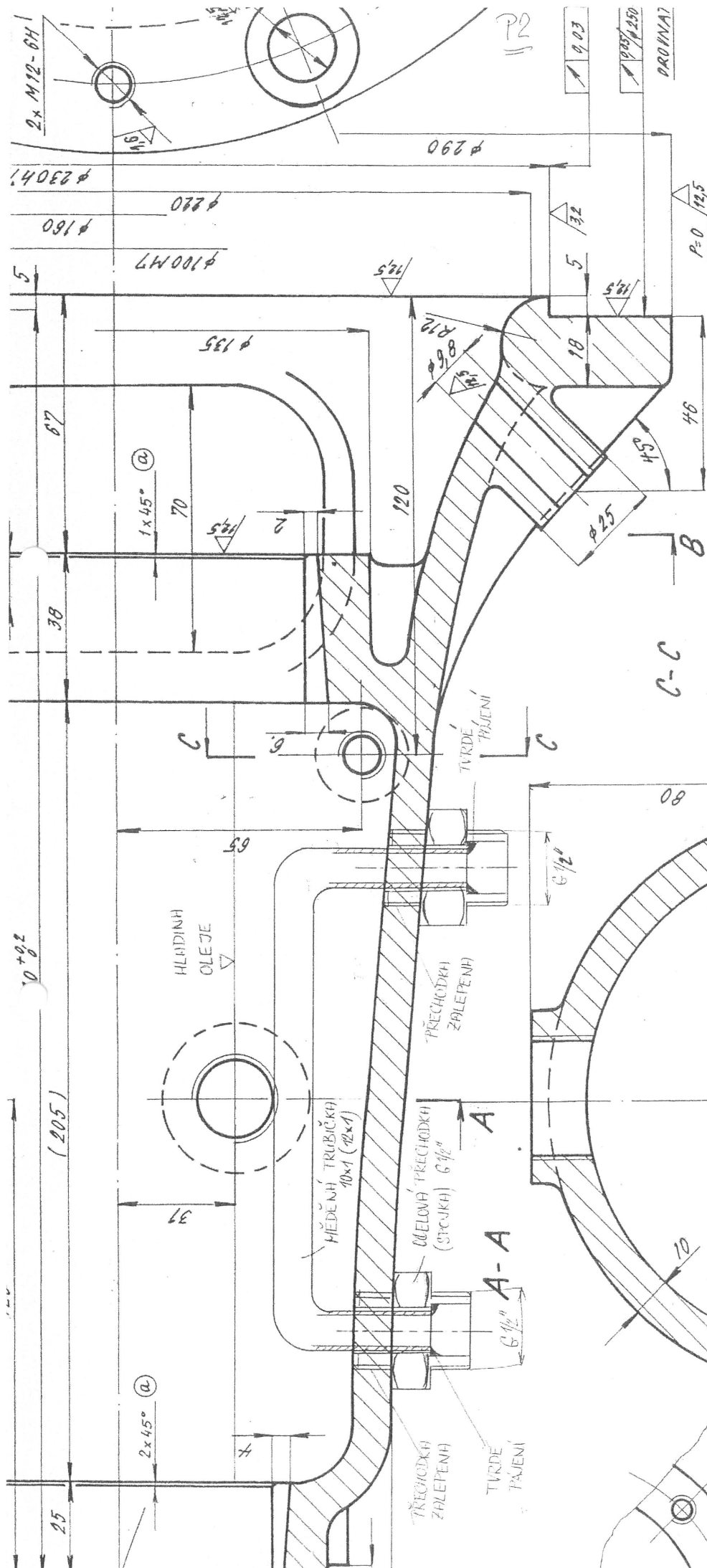
Navržená turbína dává reálné předpoklady dlouhodobého bezporuchového provozu. Stroj je velmi málo náchylný na zanášení nečistotami. Případné vyčištění turbíny stačí režimově – provozní odstavení a opětné spuštění s krátkou prodlevou.

Úpravy pro využití a implementaci DET – lze označit jako relativně malé.

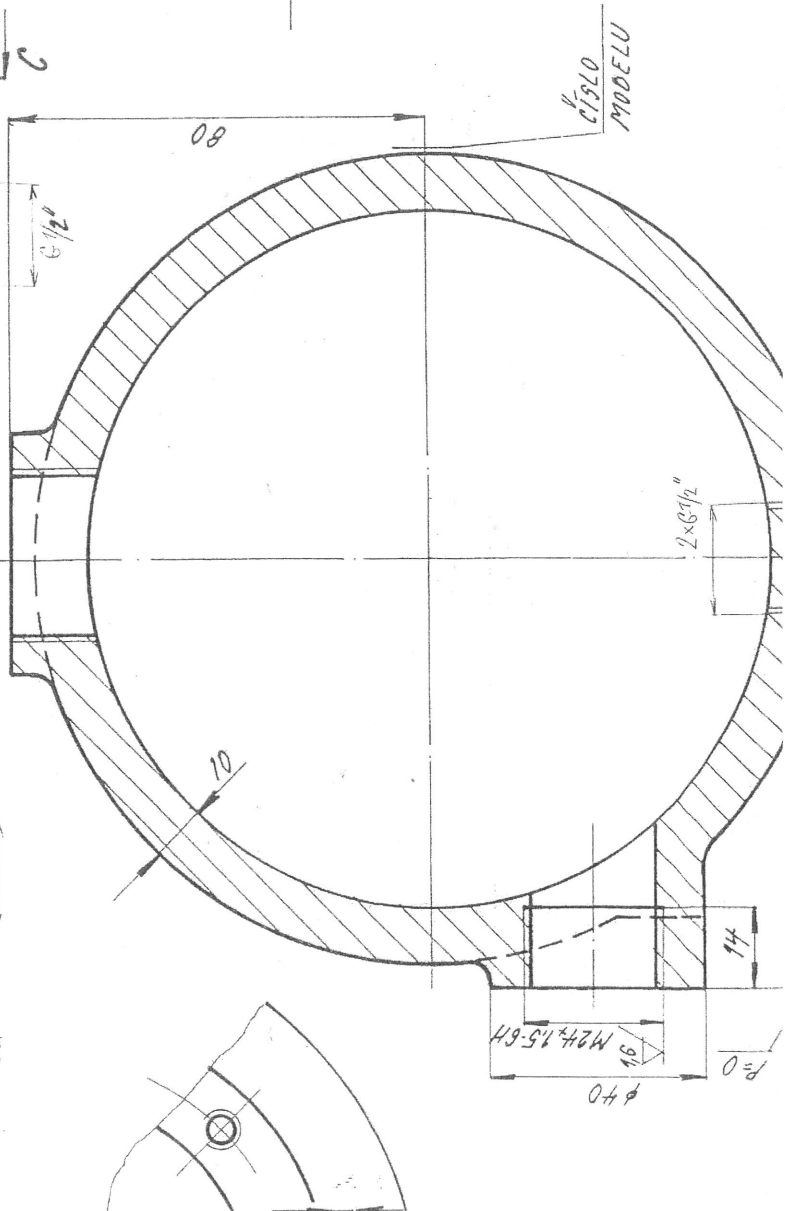
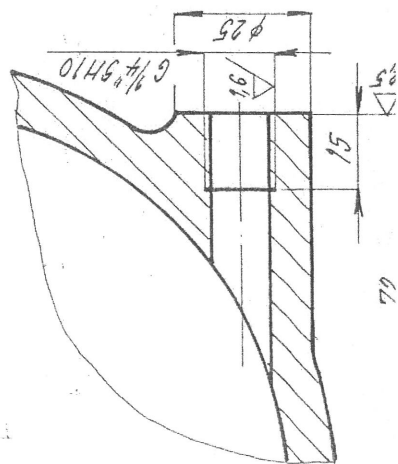
7. Literatura

[1] Nechleba M.: Vodní turbíny, SNTL, 1962

[2] SIGMA podklady, určení a výpočet hydraulických ztrát



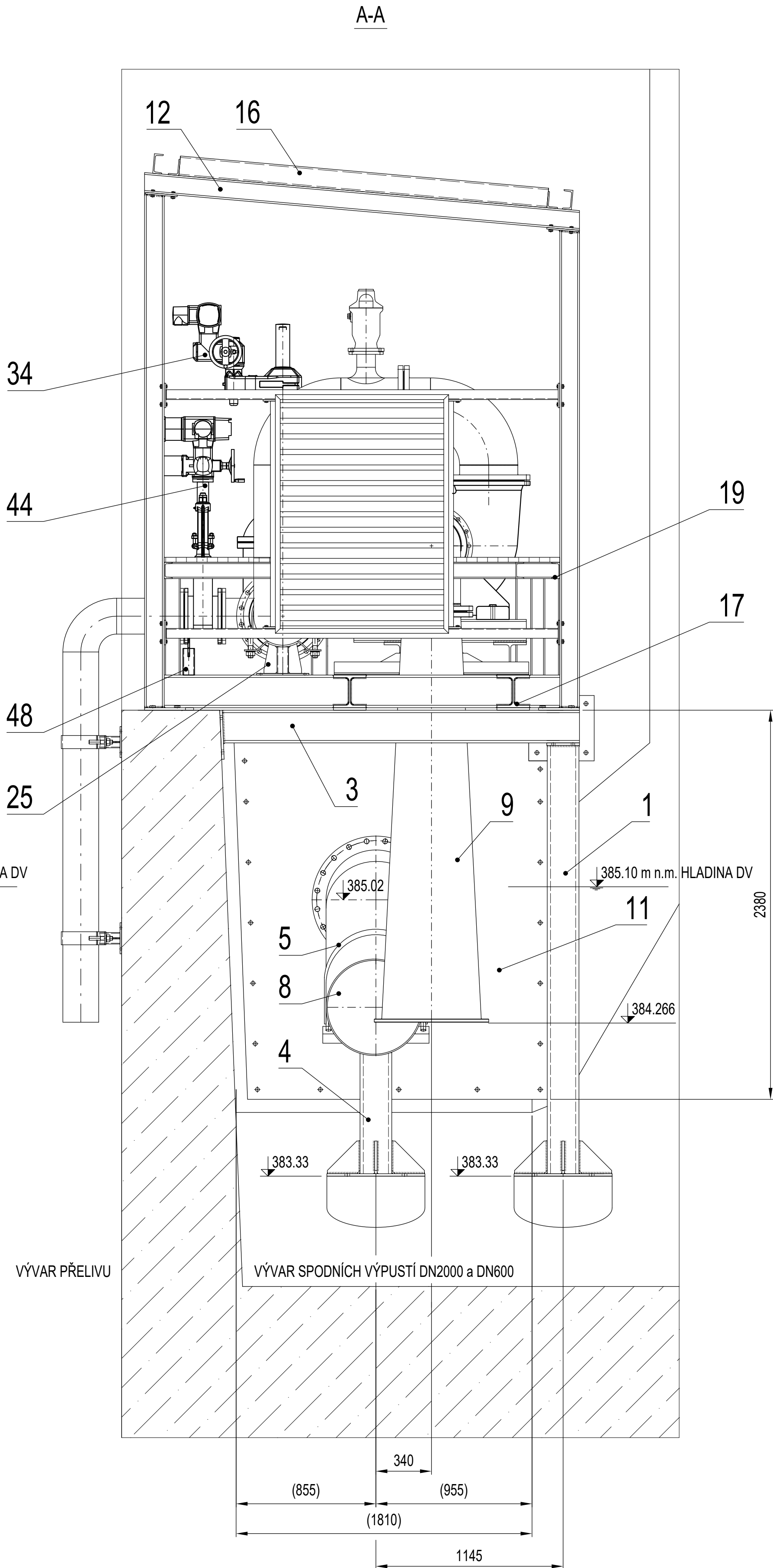
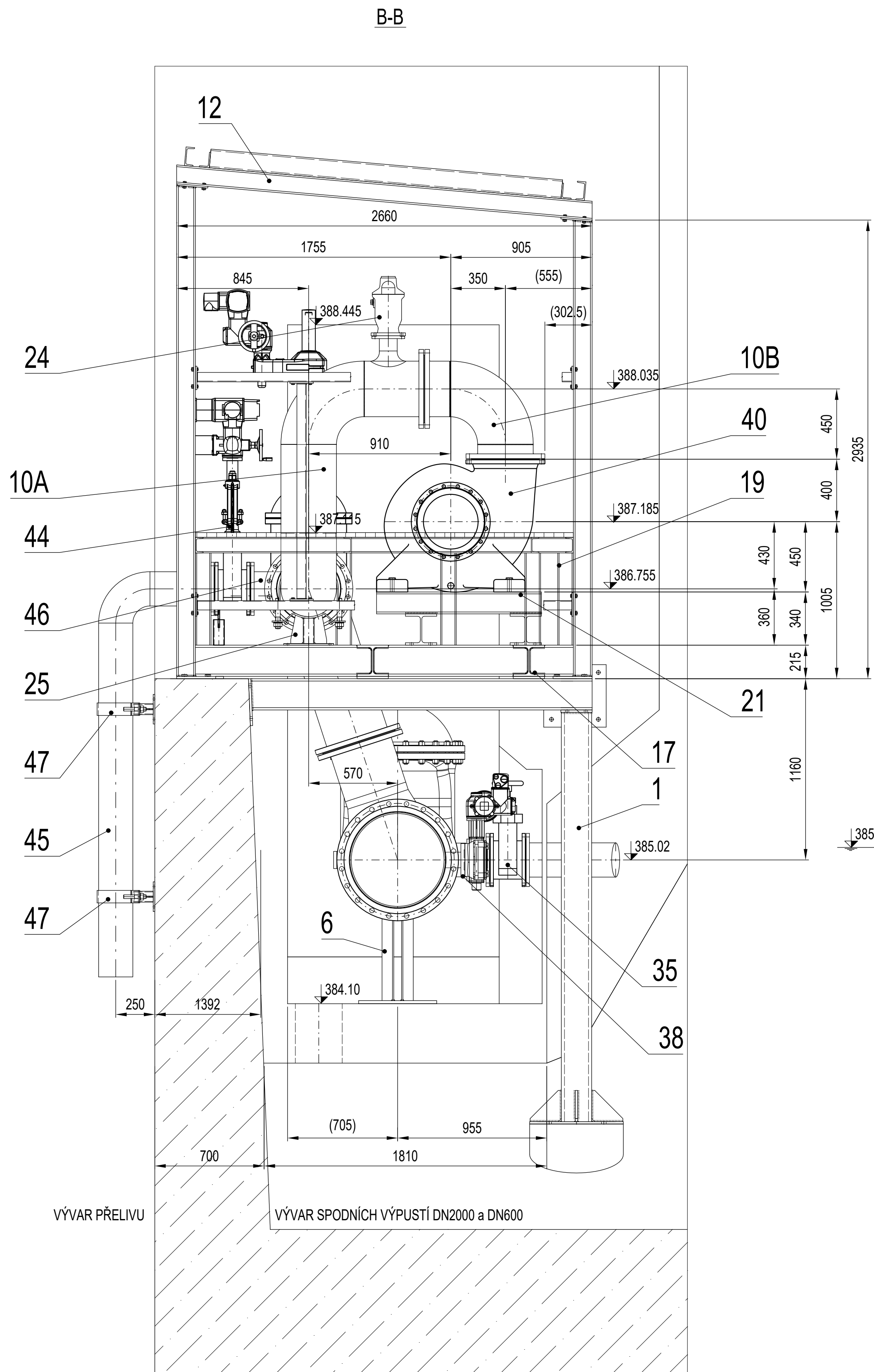
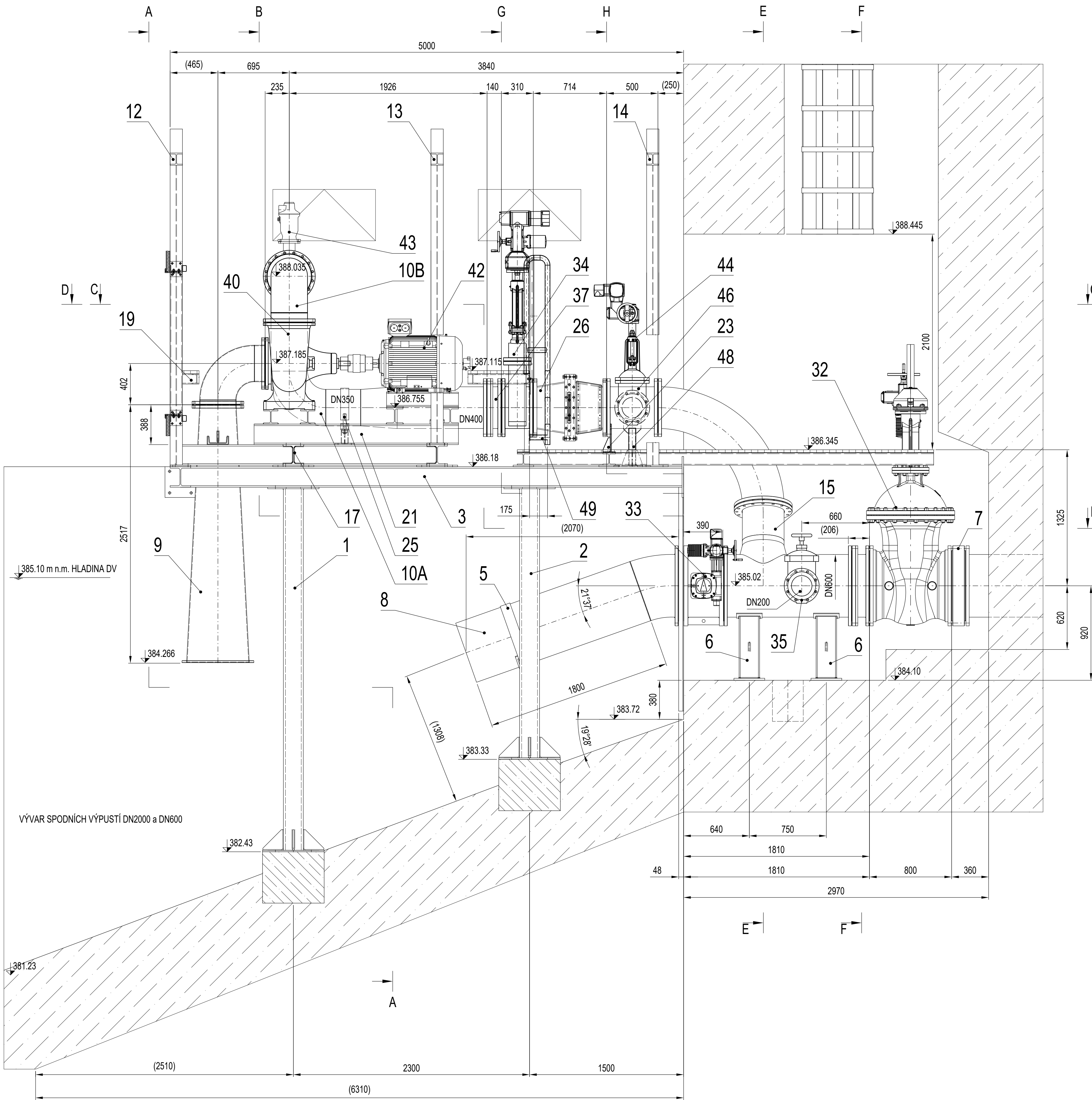
MODELOVÝ VÝKRES NA Č. V. 702
PŘESNOST ČSN 014470.4
SMĚRODATNÁ TLOUŠŤKA 15
DOLITEK NEPROPUSTNÝ
MEDIUM- OLEJ P2



Příloha P3a

↓ 404.10 m n.m. Max. hladina

↓ 396.10 m n.m. Hladina stálého nadržení

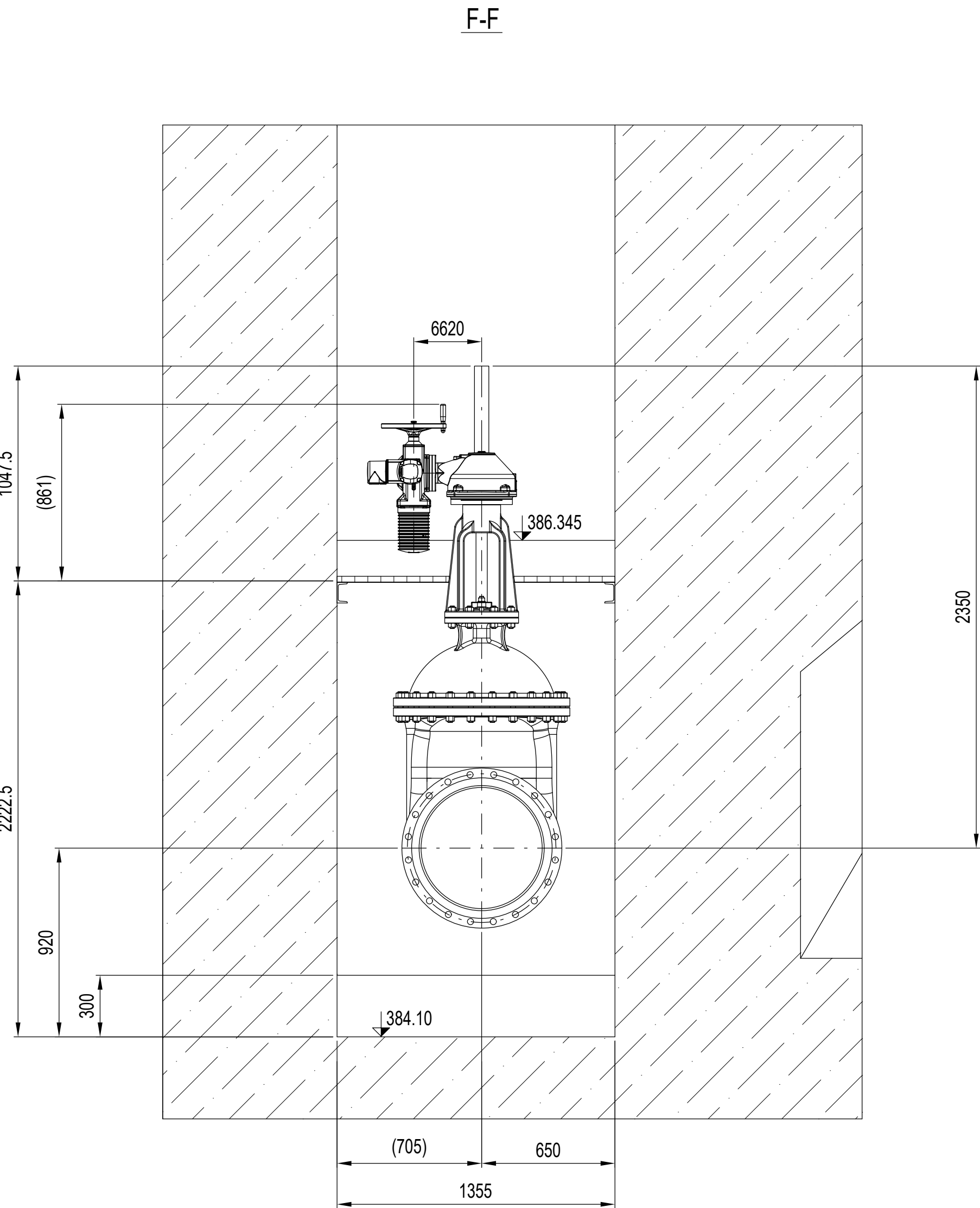
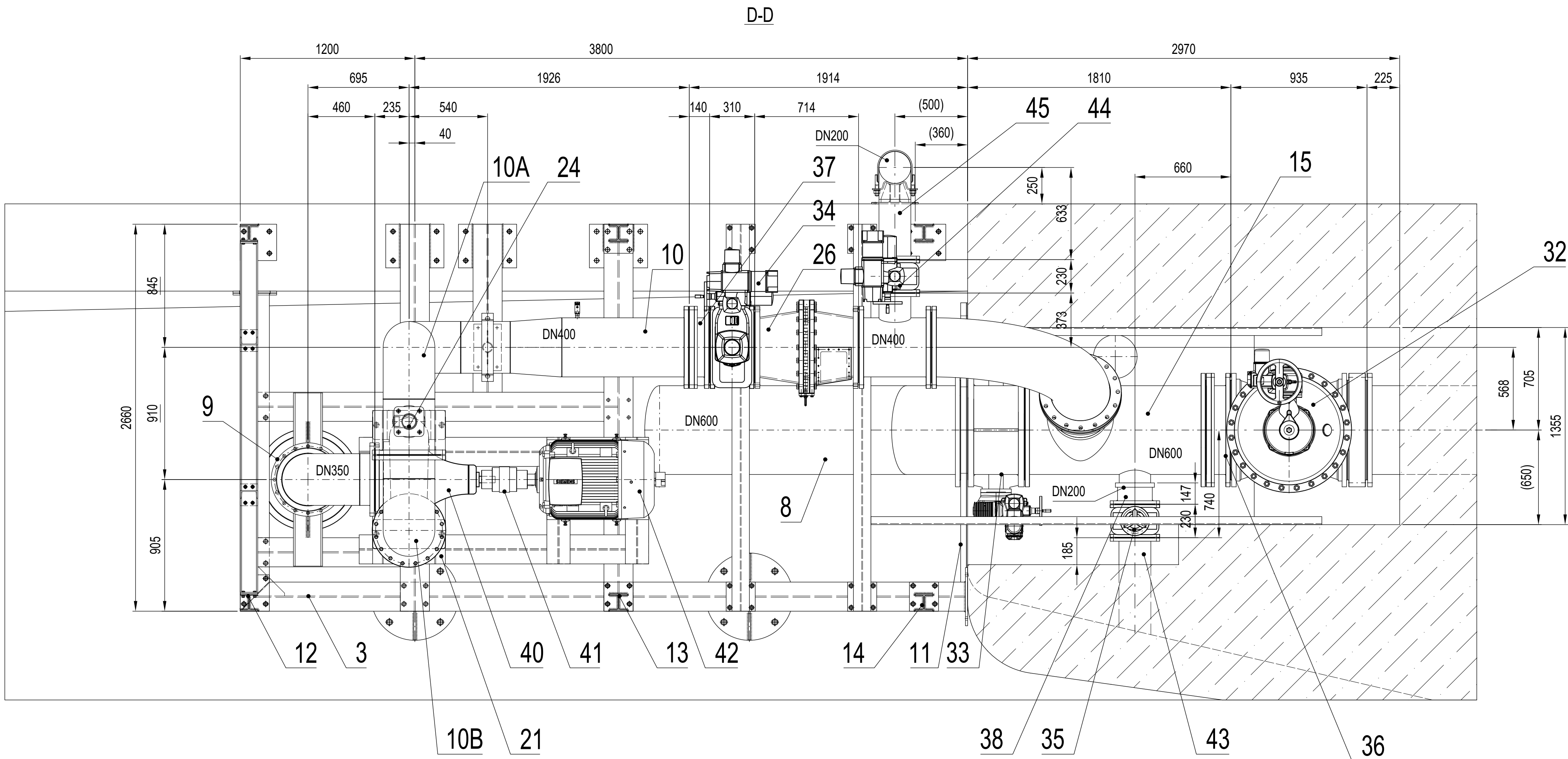
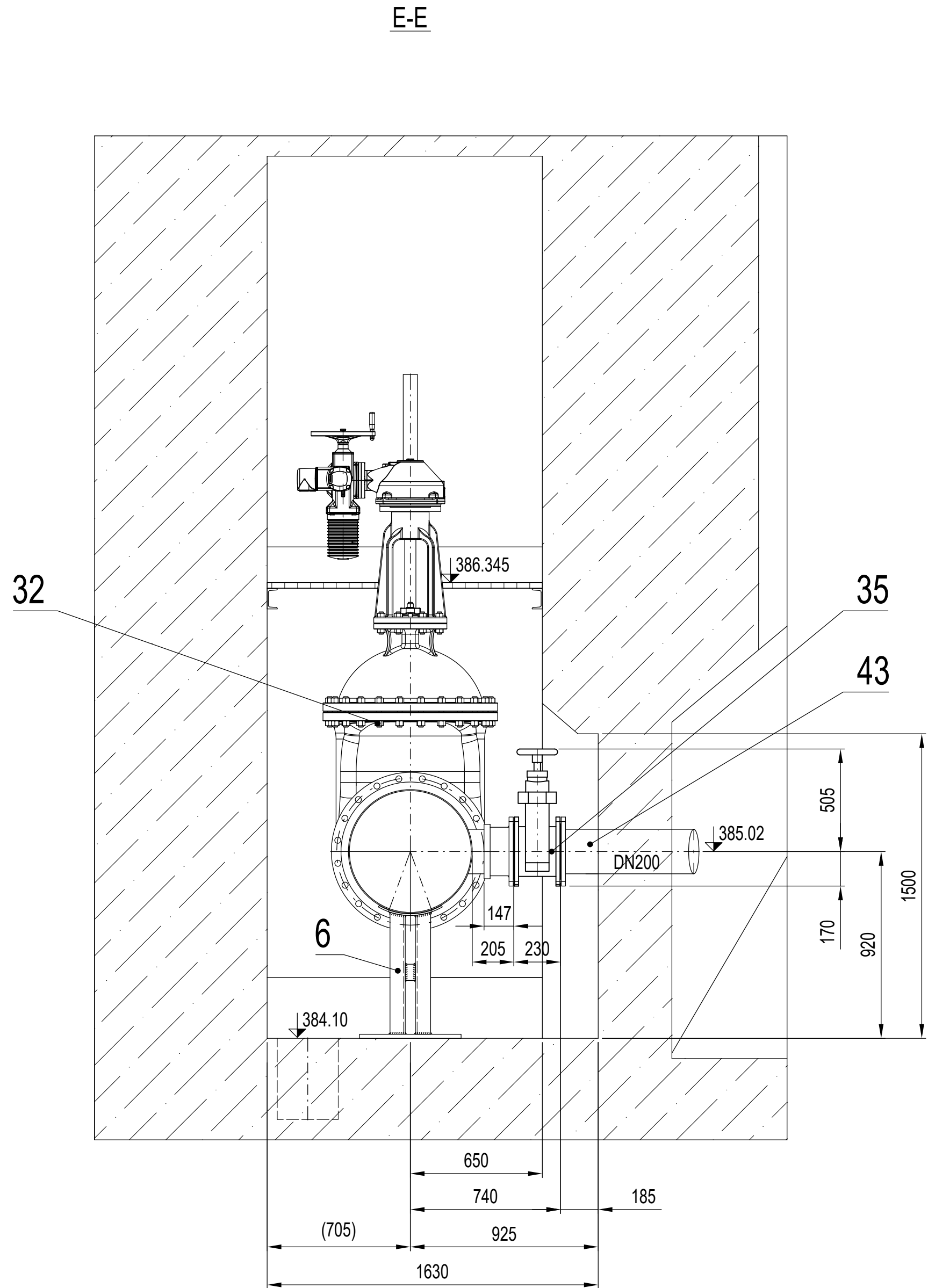
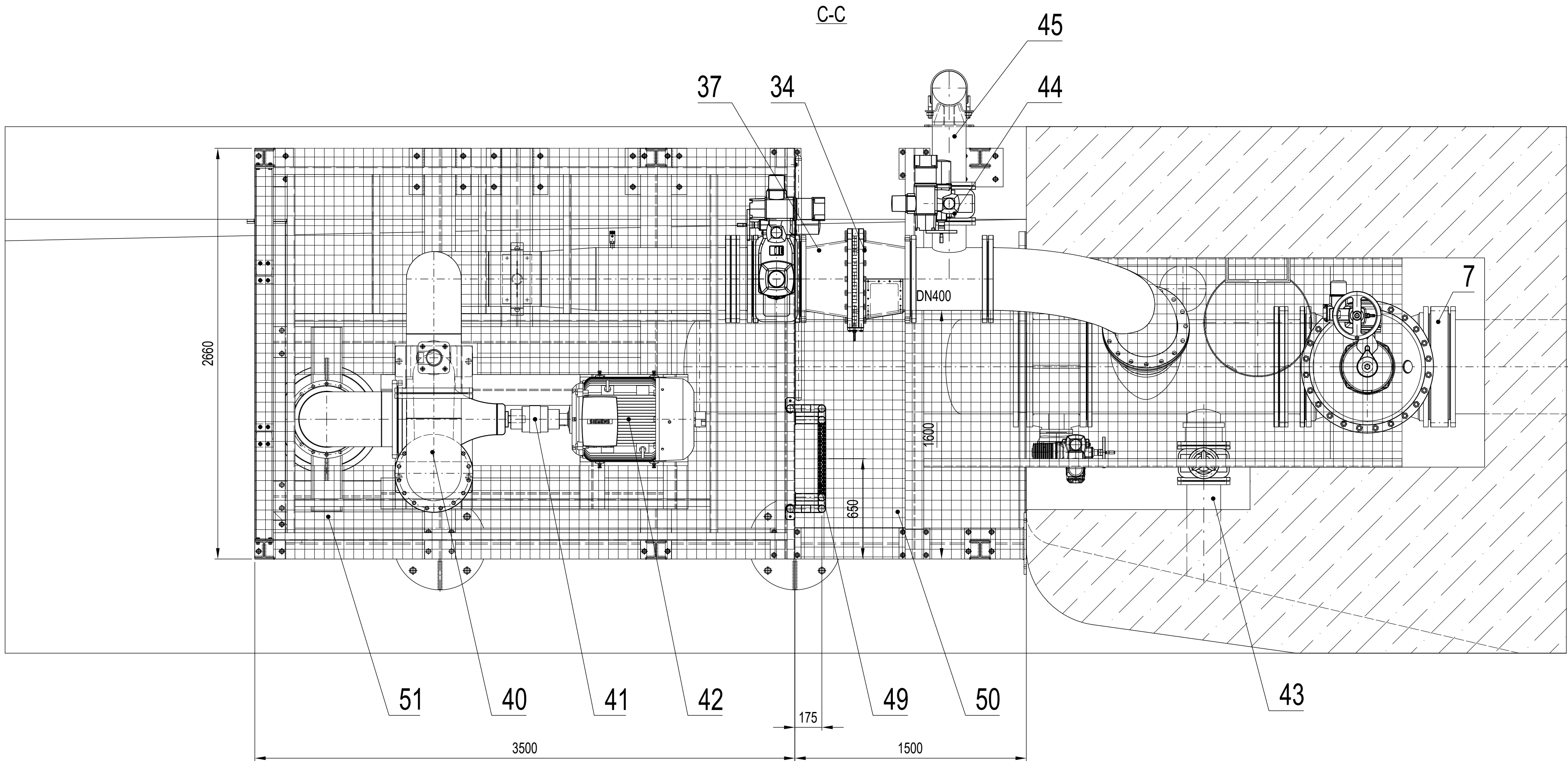


SESTAVA				Hmotnost celkem / 1ksl. ---kg			
VÝŠKOVÝ SYSTÉM BALT p.v.							
51	Pochodzí plocha II.	1	1.0038 (žárový Zn)	Rostl SP 330-34/38 2660x3500mm	AX - 1655u - 51	270	
50	Pochodzí plocha I.	1	1.0038 (žárový Zn)	Rostl SP 330-34/38 1600x1500mm	AX - 1655u - 50	70	
49	Zešklík	1	xxx	(evarek)	AX - 1655u - 49	40	
48	Stojan přírubový DN200	1	1.0038 (11 375)	(evarek)	AX - 1655u - 48	15	
47	Stojan potrubí DN200	2	1.0038 (11 375)	(evarek)	AX - 1655u - 47	20	
46	T-kus DN400/200 DN10	1	1.0038 (11 375)	(evarek)	AX - 1655u - 46	150	
45	Saradní trubní rozvod DN 200	1	1.0038 (11 375)	(evarek)	AX - 1655u - 45	200	
44	Int. řízení AUTOMATIC ACV 01.2	1	---	řávezení měnič	(nový komponent)	---	
44	Servopohon ALMA SAV 10.2	1	---	Konektor (4xM20/2xM25), IP68	(nový komponent)	---	
44	Servopohon ALMA SAV 10.2	1	---	230V, 5-600A, 40-120Nm	(nový komponent)	---	
44	Šoupátko DN200 PN10	1	---	šoupátko úměrné typ P03.009 F4	(90)	---	
43	Odkalovací trubní rozvod DN 200	1	---	(evarek)	(stávající)	---	
42	Generátor SIEMENS	1	---	1LE1603-2DC25-0AH4-Z	(stávající)	---	
41	Přídavná spodka	1	---	P03-175/140	(stávající - úprava)	---	
40	Čerpadlová turbína	1	---	DET-10 DET-350	(nový komplet)	(400)	
38	Přírubový adaptér DN200 PN 10	1	---	VARipius - RFA Ranger	(stávající)	---	
37	Montážní vložka DN 400 PN 10	1	---	M20 21 174 AG	(stávající)	---	
36	Montážní vložka DN 600 PN 10	1	---	M20 21 174 AG	(stávající)	---	
35	Šoupátko DN 200 PN 10	1	---	IKO Plus nestoup. vřeten	(stávající)	---	
35	Šoupátko DN 200 PN 10	1	---	IKO Plus - ruč. kolo, kovotěsnic	(stávající)	---	
34	Převodovka GST 16.1	1	---	i=2.8:1	(nový komponent)	xx	
34	Int. řízení AUTOMATIC ACV 01.2	1	---	řekv. měnič, interface Modbus TCP/IP	(nový komponent)	xx	
34	Servopohon ALMA SAV 10.2	1	---	Konektor (4xM20/2xM25), IP68	(nový komponent)	xx	
34	Servopohon ALMA SAV 10.2	1	---	230V, 12-120A, 100-300Nm	(nový komponent)	xx	
34	Šoupátko (regul.) DN400 PN10	1	---	šoupátko úměrné typ P03.009 F4	(nový komponent)	(350)	
33	Převodovka GS 125.3	1	---	---	(stávající)	---	
33	Servopohon Auma SA 10.2	1	---	Konektor (4xM20/2xM25), IP68	(nový komponent)	---	
33	Servopohon Auma SA 10.2	1	---	45 ot., F10/řvár B3, 40-120Nm	(nový komponent)	(25)	
33	Klapka DN 600 PN 10	1	---	L32.61 134 AG	(stávající)	---	
32	Servopohon Auma SA 14.2	1	---	převodovka GK 25.2	(stávající)	---	
32	Šoupátko DN 600 PN 10	1	---	S33.11 135 AG	(stávající)	---	
26	Čistič kus / jemné česle	1	---	(evarek)	(stávající - úprava)	20	
25	Stojan potrubí DN350	1	1.0038 (11 375)	(evarek)	AX - 1655u - 25	25	
24	Od- a zavzdušňovací ventily	1	---	(VAG) DUOJET DN100 PN10	(nový komponent)	(28)	
23	Sedo II. přírubové DN400	1	1.0038 (11 375)	(evarek)	AX - 1655u - 23	15	
22	Sedo I. (DN400)	1	---	(evarek)	(stávající)	---	
21	OK MVE	1	1.0038 (11 375)	(evarek)	AX - 1655u - 21	500	

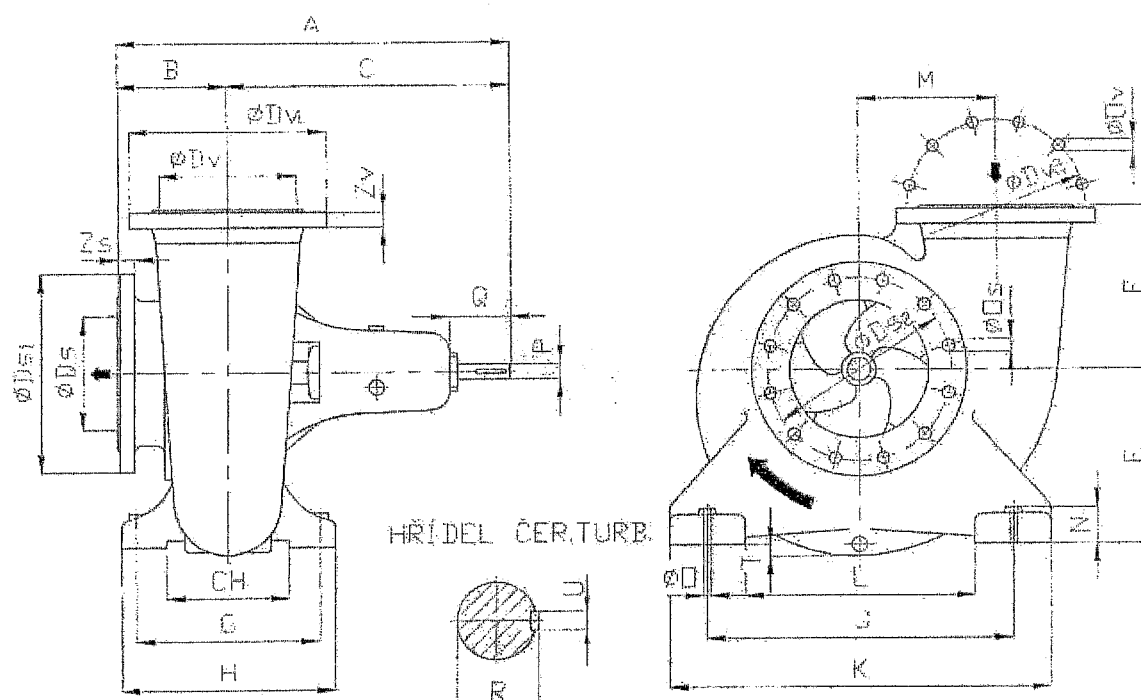
Poz.		Součást		Kusů		Material		Rozměr - Model		Poznámka		Hmot.	
Měřítko		Kreslí		Kontroloval		Schválil		MVE Křázanovice,		PS 1 Část strojíř			
1:20		FIALA						Akce výměna turbíny					
Datum		Kusovník		Stupeň		Investor		Povodí Labe, státní podnik					
12/2023		TP											

PS PROFÍ s.r.o. **DISPOZICE MVE** **A0 - 1655u - 00 A**

Príloha P3b



VÝŠKOVÝ SYSTÉM BALT p.v.					Hmotnost celkem / 1kpl. --kg	
51	Pochodzí plocha II.	1	1.0038 (zárovň Zn)	Rošt SP 330-34/38 2660x3500mm	AX - 1655u - 51	270
50	Pochodzí plocha I.	1	1.0038 (zárovň Zn)	Rošt SP 330-34/38 1600x1500mm	AX - 1655u - 50	70
49	Zetifik	1	---	(svarek)	AX - 1655u - 49	40
48	Stojan přírubový DN200	1	1.0038 (11 375)	(svarek)	AX - 1655u - 48	15
47	Stojan přírubový DN200	2	1.0038 (11 375)	(svarek)	AX - 1655u - 47	20
46	T-kus DN400/200 DN10	1	1.0038 (11 375)	(svarek)	AX - 1655u - 46	150
45	Saradní trubi rozvod DN 200	1	1.0038 (11 375)	(svarek)	AX - 1655u - 45	200
44	Int. řízení AUTOMATIC ACV 01.2	1	---	frekvencí námit	(nový komponent)	---
44	Servopohon AUMA SAV 10.2	1	---	Konektor (4xM20/2xM25), IP68	(nový komponent)	---
44	Servopohon AUMA SAV 10.2	1	---	230V, 6-600t., 40-120Nm	(nový komponent)	---
44	Šoupátko DN200 PN10	1	---	šoupátko třmenové typ P33.009 F4	(nový komponent)	(90)
43	Odváděcí trubi rozvod DN 200	1	---	(svarek)	(stávající)	---
42	Generator SIEMENS	1	---	1LE1803-2DC25-0AH4-Z	(stávající)	---
41	Průžná spojka	1	---	PSU-175/140	(stávající - úprava)	---
40	Čerpadlová turbína	1	---	OET-10 DET-350	(nový komplet)	(400)
38	Príměsový adapter Dn200 PN 10	1	---	VARipius - RFA Ranger	(stávající)	---
37	Montážní vložka DN 400 PN 10	1	---	M20 21 174 AG	(stávající)	---
36	Montážní vložka DN 600 PN 10	1	---	M20 21 174 AG	(stávající)	---
35	Šoupátko DN 200 PN 10	1	---	IKO Plus nestoup. včetně	(stávající)	---
35	Šoupátko DN 200 PN 10	1	---	IKO Plus - ruč. kolo, kovotěsnící	(stávající)	---
34	Převodovka GST 16.1	1	---	n2 8.1	(nový komponent)	xx
34	Int. řízení AUTOMATIC ACV 01.2	1	---	frekv. měnič, interface Modbus TCP/IP	(nový komponent)	xx
34	Servopohon AUMA SAV 10.2	1	---	Konektor (4xM20/2xM25), IP68	(nový komponent)	xx
34	Servopohon AUMA SAV 10.2	1	---	230V, 12-120ot., 100-300Nm	(nový komponent)	xx
34	Šoupátko (regul.) DN400 PN10	1	---	šoupátko třmenové typ P33.009 F4	(nový komponent)	(350)
33	Převodovka GS 125.3	1	---	(svarek)	(stávající)	---
33	Servopohon Auma SA 10.2	1	---	Konektor (4xM20/2xM25), IP68	(nový komponent)	---
33	Servopohon Auma SA 10.2	1	---	45 ot., F10Ivar B3, 40-120Nm	(nový komponent)	(25)
33	Klapka DN 600 PN 10	1	---	L32 B1 134 AG	(stávající)	---
32	Servopohon Auma SA 14.2	1	---	převodovka GK 25.2	(stávající)	---
32	Šoupátko DN 600 PN 10	1	---	S33.11 135 AG	(stávající)	---
26	Čistič kus / jemné česle	1	---	(sestava)	(stávající - úprava)	20
25	Stojan přírubový DN350	1	1.0038 (11 375)	(svarek)	AX - 1655u - 25	25
24	Od- a zavzdušňovací ventil	1	---	(VAG) DUOJET DN100 PN10	(nový komponent)	(28)
23	Sedlo II. přírubové DN400	1	1.0038 (11 375)	(svarek)	AX - 1655u - 23	15
22	Sedlo I. (DN400)	1	---	(svarek)	(stávající)	---
21	OK MVE	1	1.0038 (11 375)	(svarek)	AX - 1655u - 21	500
19	OK podlahy	1	1.0038 (11 375)	(sestava) úprava	AX - 1655u - 19	625
17	Nosná OK podlahy MVE	1	---	(sestava) úprava	AX - 1655u - 17	100
16	Nosná OK sítěřky	1	---	(svarek)	(stávající)	---
15	Přímotří trubi rozvod	1	---	(svarek)	(stávající)	---
14	Nosná konstrukce III.	1	---	(sestava)	(stávající)	---
13	Nosná konstrukce II.	1	---	(sestava)	(stávající)	---
12	Nosná konstrukce	1	---	(sestava)	(stávající)	---
11	Intřidí deska	1	---	TL 40 x 2000 - 2400	(stávající)	---
10B	Trubi rozvod DN 350 II.	1	1.0038 (11 375)	(svarek)	AX - 1655u - 10B	150
10A	Trubi rozvod DN 350 I.	1	1.0038 (11 375)	(svarek)	AX - 1655u - 10A	300
10	Trubi rozvod DN 400/350	1	1.0038 (11 375)	(svarek)	A1 - 1655u - 10	150
9	Sávka	1	1.0038 (11 375)	(svarek) úprava	A2 - 1655u - 09	100
8	Opadní trubi rozvod DN 600	1	---	(svarek)	(stávající)	---
7	Mezikus	1	---	TL 80 - Ø790	(stávající)	---
6	Stojna spodní výpusti DN 600	2	---	(svarek)	(stávající)	---
5	Třmen (svarek)	1	---	(svarek)	(stávající)	---
4	Spone odvětrávací rozvodu DN 800	1	---	(svarek)	(stávající)	---
3	Rám (svarek)	1	---	(svarek)	(stávající)	---
2	Stojna č.2	1	---	(svarek)	(stávající)	---
1	Stojna č.1	1	---	(svarek)	(stávající)	---
Poz.	Součást	Kusů	Material	Rozměr - Model	Poznámka	Hmot.
Měřítko	Kreslil	Kontroloval	Schválil	MVE Křžanovice, Akce výměna turbíny PS 1 Část strojíř		
1:20	FIALA					
	Datum	Kusovník	Stupeň	Investor Povodí Labe, státní podnik		
	12/2023		TP			
PS PROFI s.r.o.		Název		Číslo výkresu		
		DISPOZICE MVE		A0 - 1655u - 00 B		



Velikost čer.turb.	Hrdla (PN 10)									
	ϕD_s	ϕD_{s1}	ϕD_{s2}	Z_s	ϕD_s	ϕD_v	ϕD_{v1}	ϕD_{v2}	Z_v	ϕD_v
DET-200	DN200	340	295	26	8x $\phi 22$	DN200	340	295	25	8x $\phi 22$
DET-250	DN250	395	350	25	12x $\phi 22$	DN250	395	350	24	12x $\phi 22$
DET-300	DN300	445	400	24	12x $\phi 22$	DN300	445	400	24	12x $\phi 22$
DET-350	DN350	505	460	30	16x $\phi 22$	DN350	505	460	30	16x $\phi 22$
DET-400	DN400	565	515	25	16x $\phi 26$	DN400	565	515	28	16x $\phi 26$

Velikost čer.turb.	ČERPADLOVÁ TURBÍNA																		
	A	B	C	E	F	G	H	GH	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	T	U
DET-200	695	170	525	280	250	300	350	200	470	600	340	225	60	4x $\phi 22$	35	80	38,3	12	10
DET-250	730	205	525	315	300	340	400	220	570	720	420	260	65	4x $\phi 22$	35	80	38,3	29	10
DET-300	827	220	607	400	350	380	450	230	670	850	490	300	80	4x $\phi 25$	45	110	48,5	2	14
DET-350	827	235	592	450	400	450	500	300	750	950	550	350	90	4x $\phi 25$	45	110	48,5	0	14
DET-400	993	250	743	500	425	480	550	350	835	1050	600	410	135	4x $\phi 25$	60	125	64,2	44	18

TYP ČER.TURB.	HMOTNOST [Kg]
DET-200	140
DET-250	210
DET-300	280
DET-350	360
DET-400	500

M	DATUM	KRESLIL	SIGMA PUMPY
MENT	10.3.2008	ZEDEK	HRANICE
ROZMĚROVÝ NÁČRTEK Z-11-0127			Z-11-0127
DET-10 (PRO NIŽŠÍ SPÁDY)			