

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za strojništvo

Mehatronske sistem za transport vode pri gondolski
žičnici

DIPLOMSKA NALOGA UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Janez Rihtaršič

Ljubljana, 2002

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za strojništvo

Mehatronske sistem za transport vode pri gondolski
žičnici

DIPLOMSKA NALOGA UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Janez Rihtaršič

Mentor: prof. dr. Jože Duhovnik, uni. dipl. ing.

Ljubljana, 2002

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil strašem in bratom, ker so me finančno, moralno in z nasveti podpirali na poti do diplome.

Posebej bi se rad zahvalil mentorju prof. dr. Jožetu Duhovniku, ki me je vodil v pravilni smeri pri izdelavi diplomske naloge ter prototipa. Njegovo široko znanje z raznovrstnih področij tehnike, bogate izkušnje s številnih predhodnih projektov in nenazadnje tudi zaupanje, so omogočile izdelavo in končno delovanje sistema za transport vode.

Zahvalil bi se rad tudi prijateljema in sošolcema Janezu Benedičič in Ivanu Demšarju, ki sta sta me spremljala in spodbujala že iz srednješolskih klopi dalje. V času nastajanja diplomske naloge sta bila vedno pripravljena pomagati in svetovati.

Zahvaljujem se tudi zaposlenim v laboratoriju LECAD, ki so mi pomagali z nasveti pri izdelavi in oblikovanju diplomske naloge in Anji Notar Rihtaršič za lektoriranje.

Zahvaljujem se tudi Klemenu Duhovnik in podjetju Dr. DUHOVNIK d.o.o, s katerim smo tvorno sodelovali pri zasnovi in izdelavi tehnične dokumentacije mehatriškega sistema za transport vode. Zahvala gre tudi podjetjem Žičnice Vogel d.d., Filbo d.o.o. ter Regeneracija d.o.o., brez katerih bi projekt le s težavo bil izpeljan v tako kratkem času.

Copyright © : Janez Rihtaršič
prof. dr. Jože Duhovnik

Kopiranje in vsakršen drug način razmnoževanja v celoti ali posameznih delov ni dovoljeno brez predhodnega pisnega dovoljenja nosilcev te pravice.

Glede na Zakon o avtorskih in sorodnih pravicah UL RS št. 21/1995 in Zakon o industrijski lastnini UL RS št. 13/1992, 13/1993, 27/1993, 34/1997 in 75/1997 velja še naslednje:

Diplomsko nalogo – arhivski izvod si je možno ogledati samo v prostorih knjižnice Fakultete za strojništvo v Ljubljani s pisnim dovoljenjem:

1. avtorja – diplomanta
Janez Rihtaršič _____
2. mentorja
prof. dr. Jože Duhovnik _____

Če ni avtorjevega – diplomantovega podpisa, je diplomska naloga v knjižnici Fakultete za strojništvo v Ljubljani nedostopna za vpogled.

Mehatronske sistem za transport vode pri gondolski žičnici

Janez Rihtaršič

Ključne besede: transport vode
poliesterski rezervoar
morfološka matrika
numerična analiza
sočasni razvoj
virtualno podetje

Izvleček:

V diplomski nalogi je predstavljen proces izdelave mehatronskega sistema za transport pitne vode od zasnove do realizacije. Sistem omogoča polnjenje in praznjenje 3000 literskega rezervoarja v času 180 s. Z uporabo kabinske žičnice, prepeljemo vodo med spodnjo in zgornjo postajo žičnice, z višinsko razliko 963 m. V fazi snovanja je predstavljen proces izdelave konceptov in njihovo vrednotenje. Optimiziranje in dimenzioniranje izbranega koncepta smo izvedli z uporabo numeričnih analiz. V delu so tudi podrobneje predstavljeni postopki izdelave posameznih elementov in rezultati delovanja celotnega sistema.

Mechatronic system for transport of the water with cable car

by
Janez Rihtaršič

Keywords: Transport of water
Poliester reservoir
Morphological matrix
Concurrent engineering
Virtual company

Abstract:

In diploma assignment we present the development process of a mechatronic system for the transport of drinking water from conceptualization to realization. The system enables us to fill and empty the reservoir with capacity of 3000 l within the time period of 180 s. We use cable car for water transport between lower and upper cable station with 963 m of height difference. In the phase of the conceptualization we see different concepts and their evaluation. Optimizing and dimensioning of the chosen concept was carried out with the use of numerical analysis. There is also a detailed presentation of manufacturing processes of different components and results of the working system.

IZJAVA

Diplomsko nalogo sem samostojno izdelal pod vodstvom mentorja prof. dr. Jožeta Duhovnika.

Janez Rihtaršič

Ljubljana, dne 28.8.2002

Kazalo

Slike

Tabele

Poglavje 1

Uvod

V Alpskem svetu je struktura tal apnenčasta in zato tudi porozna. V visokogorju slovenskih Alp je tako pogosto pomanjkanje vode za potrebe planinskih postojank in vikendov. V zadnjem obdobju pa so vedno večji problem tudi suhe zime, zaradi česar so mnoga smučišča tudi v zimskem obdobju zaprta. Ker pa so zime še vedno dovolj mrzle, lahko z zasneževanjem omogočamo obratovanje smučišč. V obeh primerih je potrebna velika količina vode ustrezne kvalitete.

Ker bomo v diplomski nalogi obravnavali problem oskrbe smučišča, vikendov in hotela, se bomo v nadaljevanju posvetili problemu oskrbe s pitno vodo. Najbolj pogosta rešitev je zbiranje deževnice preko celega leta. V tem primeru za večje količine vode potrebujemo velike zbiralne površine in večje rezervoarje, ki omogočajo shranjevanje zadostnih količin vode. Manjše količine vode za potrebe vikendov pa lahko pridobimo tudi s taljenjem snega. Tako pridobljena voda je običajno zelo nizke kvalitete. Vodo višje kvalitete lahko zagotovimo z vodovodom. Gradnja vodovodov v visokogorju pa je zelo draga, ker moramo običajno vodo transportirati iz dolin, ali pa imamo opravka z zelo zahtevnim terenom. Prav tako pa je mogoč transport vode boljše kvalitete v embalaži. Transport lahko ob primernih cestnih povezavah izvedemo po kopnem, kjer pa to ni mogoče, pa transport izvedemo po zraku s pomočjo helikoptrskega prevoza ali z žičnicami. Transport pitne vode s pomočjo žičnic uporabljajo tudi za oskrbovanje turističnih objektov na Voglu.

1.1 Definiranje projektne naloge

Pred rekonstrukcijo gondolske žičnice so vodo na Vogel transportirali v majhnem rezervoarju s prostornino $1m^3$, ki je bil nameščen pod kabino (slika ??). Pri rekonstrukciji gondolske žičnice na Voglu so povečali nosilnost (do 6480 kg). Zaradi povečane zmogljivosti naprave je bil podan predlog za povečan rezervoar. Poleg tega je nova naprava v celoti vodena z računalnikom in zato tudi ni pričakovati ločenih pristopov v področje upravljanja voženj. Zato je potrebno pripraviti idejno rešitev za popolno avtomatiziran sistem dolivanja in iztoka vode iz rezervoarja, ki je postavljen pod vozilom.

V nalogi je predstavljena konceptualna zasnova rezervoarja pod vozilom. Pri tem

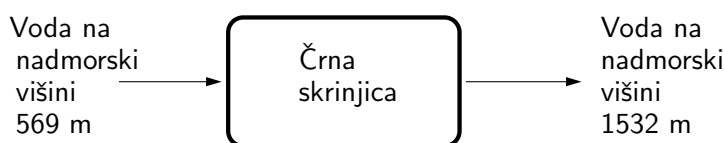


Slika 1.1: Stara kabina z aluminijastim rezervoarjem

smo upoštevali možnost, da je rezervoar izveden iz kompozitnih materialov (poliester, steklena vlakna). Posebno pozornost smo posvetili dotoku in iztoku vode iz rezervoarja. Pri tem je bilo potrebno upoštevati dejanske razmere na zgornji in spodnji postaji. V nalogi bomo v celoti obdelali mehanski sistem, ki smiselno vključuje elemente mehatronskega sistema. Razvojno konstrukcijski postopek je potekal po metodi iterativnega procesa. Posebno pozornost smo posvetili tudi določitvi napetostnih stanj v rezervoarju pri polni obtežbi. Za izbrano rešitev smo naredili delavniško dokumentacijo. V nalogi bo predstavljen potek izdelava posameznih komponent in na koncu tudi končni izdelek.

1.2 Tehnični sistem

Gre za prototipni projekt, ki zahteva inovativno rešitev in uporabo modernih postopkov konstruiranja, da bi lahko izpolnili podane zahteve in želje. Cilj naloge je prenesti pitno vodo s kraja z nadmorsko višino 569 m na nadmorsko višino 1532 m (slika ??).



Slika 1.2: Črna skrinjica

- Spodnja žičniška postaja.

Spodnja žičniška postaja (slika ??) je postavljena v kraju Ukanc, nad Bohinjskim jezerom. Leži na nadmorski višini 569 m in je lahko dostopna po cesti, ki vodi ob Bohinjskem jezeru. Ob postaji je večje urejeno parkirišče. Nadaljevanje vožnje z osebnim vozilom je prepovedano, saj območje spada v Triglavski narodni park. Tako je spodnja žičniška postaja izhodišče mnogim turistom, ki se odpravljajo na smučišče Vogel ali naprej v Julijske Alpe. Do tukaj je speljano tudi lokalno vodovodno omrežje.



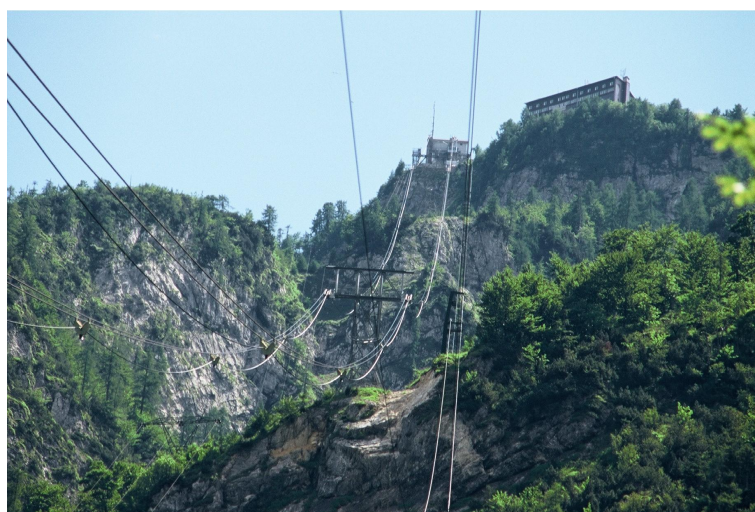
Slika 1.3: Spodnja žičniška postaja po rekonstrukciji leta 2001

- Zgornja žičniška postaja

Zgornja žičniška postaja leži na nadmorski višini 1532 m (slika ??). Tako višinska razlika med spodnjo in zgornjo postajo znaša 963 m. Pri vzpenjanju in spuščanju se na mestih nosilnih stebrov kabina žičnice zelo približa skalnim stenam (slika ??). Na zgornji postaji se tudi prične smučišče Vogel. V zimah z obilico snega pa je mogoče prismočati po Žagarjevem grabnu tudi do spodnje žičniške postaje. Takoj ob zgornji žičniški postaji je hotel Vogel in mnogo vikendov. Vse te objekte oskrbujejo z vodo iz rezervoarja s prostornino 800 m³. V rezervoarju se zbirajo meteorne vode, ki pa ne zadoščajo za celo leto. Običajno pomanjkanje vode nastopi v začetku februarja, ko je število obiskovalcev smučišča največje.



Slika 1.4: Zgornja postaja po rekonstrukciji leta 2001



Slika 1.5: Pogled s spodnje žičniške postaje proti zgornji z dvema vmesnima nosilnima stebroma

1.3 Terminski plan

Naš cilj je pripeljati projekt od ideje do realizacije v času treh mesecev in pol. To je ravno do trenutka, ko običajno prične primanjkovati pitne vode. Dejansko se je celoten projekt raztegnil na štiri mesece, kar je pri prototipnem projektu takšnega obsega tudi bilo pričakovati. Pojavljale so se namreč nekatere nepredvidene težave, tako v proizvodnji kot pri konstrukciji, ki pa smo jih z dobrim sodelovanjem vseh sodelujočih v projektu, tudi hitro reševali. V tabeli ?? je prikazan dejanski časovni potek posameznih faz projekta.

Poglavje 2

Analiza in zasnova tehničnega sistema

2.1 Konstrukcijske zahteve in želje

V letu 2001 je bila končana rekonstrukcija gondolske žičnice na Vogel. Pri rekonstrukciji je bila izvedena povečana nosilnost in potovalna hitrost obeh kabin. Pri tem so tudi v celoti avtomatizirali potek transporta oseb. Pred rekonstrukcijo so z dvema aluminijastima rezervoarjema, ki sta bila vpeta na dno kabin, vozili poleg oseb tudi pitno vodo za potrebe smučišča, vikendov in hotela. Tako je v nalogi potrebno izdelati ustrezen rezervoar ter sistema za polnjenje in praznjenje, pri čemer mora rešitev izpolnjevati podane zahteve in želje.

- Potrebno je izdelati trdnostni preračun in tehnično dokumentacijo za rezervoar pitne vode.
- Rezervoar je vpet na gondolsko kabino. Z njim se voda prevaža s spodnje na zgornjo gondolsko postajo. Višinska razlika med zgornjo in spodnjo postajo je 963 m.
- Koristni tovor rezervoarja naj bo 3000l.
- Maksimalna teža rezervoarja ne sme preseči teže desetih smučarjev. Predpostavljena teža enega smučarja je 80 kg.
- V primeru, da je rezervoar vpet s spodnje strani, njegova maksimalna višina ne sme preseči 500 mm, njegova širina in dolžina pa sta omejeni s širino in dolžino kabine.
- Potrebno je izdelati samodejni sistem za polnjenje in praznjenje rezervoarja.
- Čas polnjenja in praznenja rezervoarja ne sme preseči 180 s. To je čas, v katerem v kabino vstopi 50 smučarjev.
- Sistem polnjenja, praznenja ter rezervoar morajo brezhibno obratovati v vremenskih razmerah, ki vladajo na lokaciji Vogel od januarja do konca aprila.

- Sistem polnjenja, praznjenja ter rezervoar morajo biti zaščiteni pred zunanjimi vplivi.
- Omogočena mora biti enostavna montaža in demontaža rezervoarja na in s kabine.
- Celoten projekt mora biti realiziran v 3 mesecih oz. do pomanjkanja pitne vode za potrebe obiskovalcev smučišča, hotela in vikendov.



Slika 2.1: Nova kabina s kapaciteto 80 potnikov

V primerjavi z ostalimi načini oskrbe s pitno vodo na Vogelu, kot so vodovod, kopenski transport s cisternami ali s helikoptrskim prevozom, se izkaže, da je transport z uporabo žičnice najugodnejši. Uporabo žičnic za prevoz tovora v gorskem svetu priporoča tudi Urad za prometno politiko in mednarodno odnose na svoji spletni strani [?].

Vplivi žičniškega prometnega sistema na okolje so zelo majhni. Po vseh kriterijih je žičniški prometni podsistem še najbolj sonaraven. Aktivnosti, povezane z delovanjem tega sistema pretežno izhajajo iz naravnih danosti in so naravovarstveno usmerjene.

Žičniški prevoz je v gorskem svetu ekološko najsprejemljivejši, saj zavzame najmanj prostora, pogon je ekološko najmanj obremenjujoč, eksterni stroški, ki pri prevozu nastajajo, so najnižji. Hkrati s tem je s pomočjo žicnic zagotovljena dostopnost v težkih zimskih vremenskih razmeram.

2.2 Analiza tehničnega sistema

Transport vode pred rekonstrukcijo žičnice je potekal v aluminijastih rezervoarjih prostornine 1 m^3 . (slika ??). Rezervoar so polnili s cevjo, ki so jo ročno vtikali v odprtino rezervoarja. Sledilo je ročno odpiranje ventila. Ko je bil rezervoar poln, so ventil ročno zaprli in cev ročno odstranila iz rezervoarja. Za praznenje rezervoarja so uporabljali cev, ki je bila vdelana v dno rezervoarja. Pri polnjenju je bila ta cev privezana ob kabini, tako da je bil njen gornji rob višje od gladine vode v rezervoarju. Pri praznjenju jo je bilo potrebno odvezati in spustiti nižje od rezervoarja. Voda je tako odtekala v lijak, od tam pa v betonski rezervoar na zgornji postaji.

Kljub temu, da sta bila rezervoarja pritrjena na obe kabini, pa v dnevnem času ni bilo mogoče prenesti zadostnih količin vode. Vzroka za to sta bila v premajhni nosilnosti stare kabine (slika ??) in v predolghih časih polnjenja ter praznjenja rezervoarjev. Tako je bilo skoraj nemogoče transportirati dovolj vode le v popoldanskem času, ko so se ljudje pričeli odpravljati s smučišča. Zato so pogosto morali voziti tudi ponoči.



Slika 2.2: Stara kabina s kapaciteto 20 potnikov

V bodoče bi želeli voziti samo v času, ko se obiskovalci pričenjajo vračati v dolino.

Tako imamo manjšo porabo energije, saj se potencialna energija obiskovalcev pretvori v potencialno energijo vode. Tako je potrebno vlagati mnogo manj energije v dvigovanje in zaviranje bremen. Ker se celoten proces transporta vode odvija vzporedno s procesom prevoza ljudi, mora sistem delovati tako, da ne moti osnovne funkcije kabin-ske žičnice. To pomeni, da se med polnjenjem in praznjenjem nemoteno lahko izvaja tudi vstopanje in izstopanje ljudi iz kabine ter da sta oba procesa časovno usklajena. Časovna usklajenost pomeni, da čas polnjenja in praznenja rezervoarja ne sme biti daljši od povprečnega časa vstopanja in izstopanja ljudi iz kabine. Pri tem velja poudariti, da je čas vstopanja praviloma daljši, kot izstopanja. Zato je čas vstopanja tudi merilo za čas, v katerem mora biti izvedeno polnjenje in praznenje rezervoarja, saj se pri vsakem obratovalnem ciklu ena od obeh kabin polni.

Željeni proces, ki smo ga opisali zgoraj, razdelimo oz. klasificiramo v funkcije. Klasifikacija funkcij in funkcijskih struktur je namenjena večji racionalnosti pri konstruiranju. Funkcije opisujejo zahtevane ali željene zmogljivosti (bodočega) realnega sistema [?]. Funkcijska struktura je definirana z nizom elementov (funkcij) in nizom razmerij teh funkcij med seboj. Funkcije so lahko razporejene tako zaporedno kot vzporedno ali s kombinacijo. Predlog rešitev se izdelava skozi te (abstraktno - konkretne) korake. Število korakov je odvisno od kompleksnosti problema. Kompleksnejše probleme razdelimo na enostavnejše, te rešimo in se nato povrnemo na prejšnji nivo. Z iskanjem alternativnih rešitev na vsaki stopnji konstruiranja lahko z zadovoljivo zanesljivostjo dosežemo rešitev blizu optimuma. Obstajata dva načina izdelave funkcijske strukture.

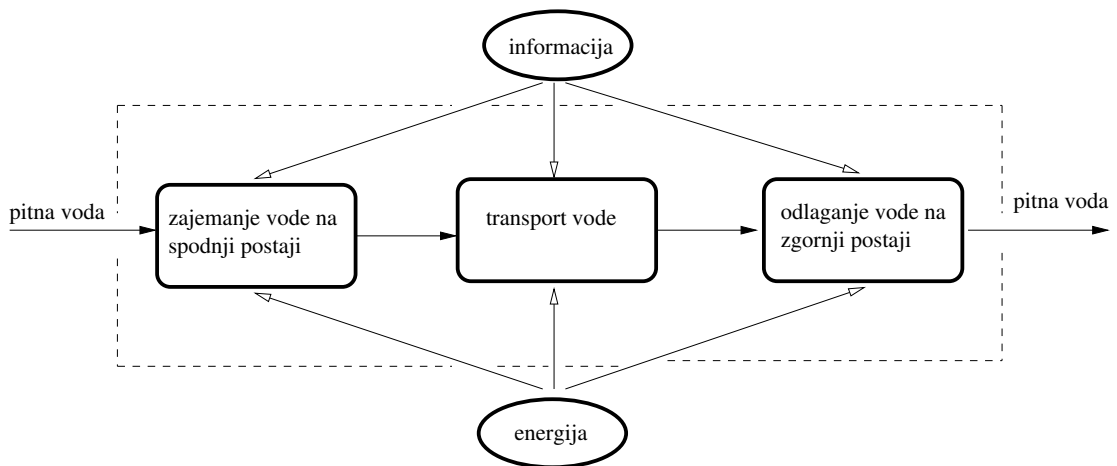
- Pri prvem začnemo s konkretiziranjem tehničnega sistema kot črne skrinjice. Pri tem poiščemo funkcije in njihove povezave.
- Pri drugem načinu začnemo abstrahirati iz obstoječe konstrukcijske strukture. Ta način je primernejši za ponovno snovanje in izboljšanje že obstoječih sistemov.

Ker je transport vode vezan na že obstoječo infrastrukturo, pride v našem primeru v poštev drugi način. Celoten sistem mora izpolnjevati glavne funkcije, ki so: zajemanje pitne vode na spodnji postaji, transport pitne vode s spodnje do zgornje postaje in odlaganje pitne vode v rezervoar na zgornji postaji (slika ??).

Pitna voda v obravnavanem primeru predstavlja material, ki ga želimo imeti na izstopu iz tehničnega sistema. Ker imamo na spodnji postaji že vir pitne vode, jo bomo uporabili tudi na vstopu v sistem. V tehnični sistem moramo dovesti še energijo in informacijo, brez katere tehnični proces ne more potekati ??.

Minimalno število stopenj, ki jih moramo upoštevati pri konstruiranju izdelka [?]:

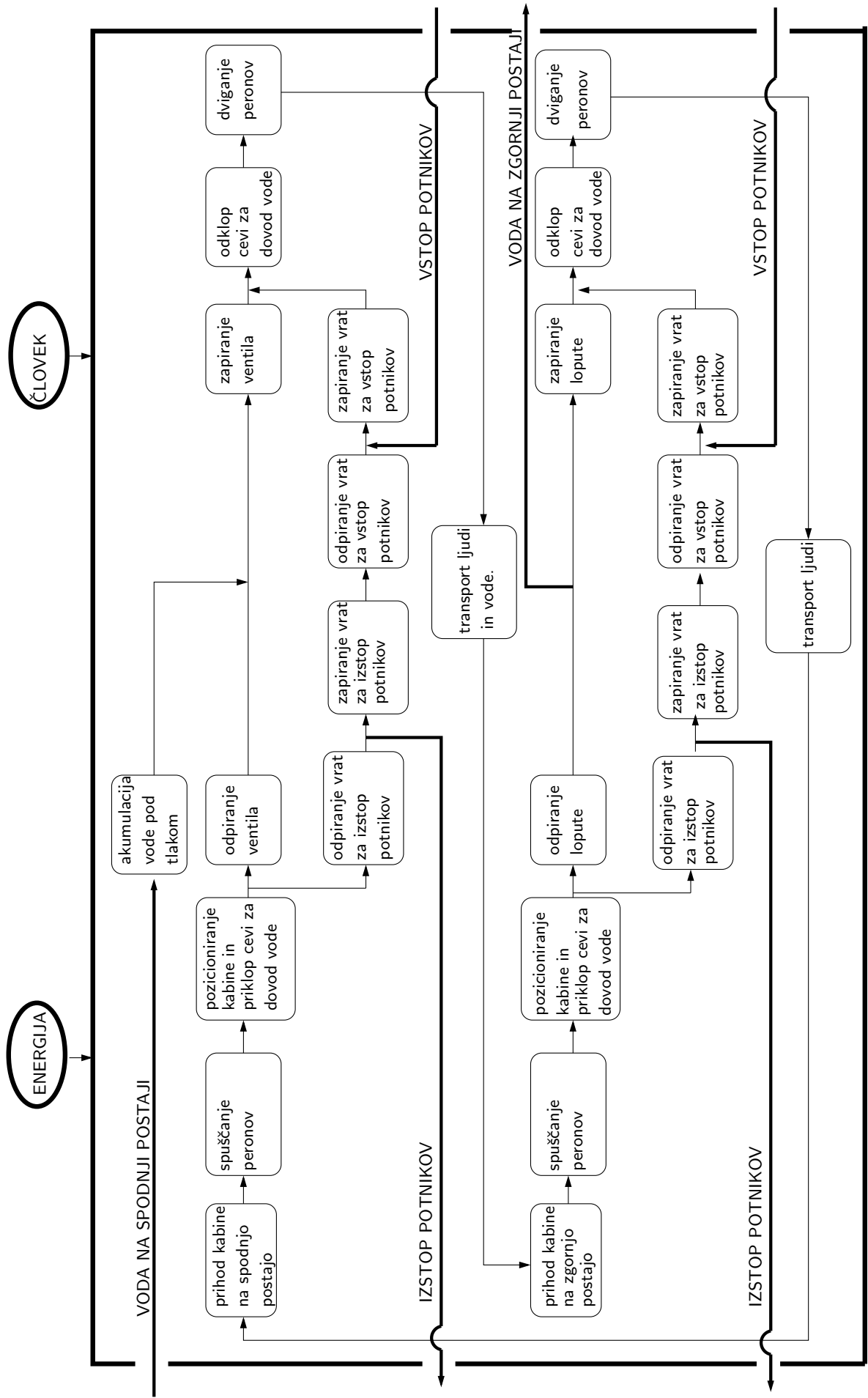
- zahteve in omejitve pri funkcijskih, ekonomskih, socialnih in drugih vidikih
- transformacija procesov in operacij
- tehnologija operacijskega procesa



Slika 2.3: Tehnični proces

- interne funkcije tehničnega sistema
- principi delov ali rešitev
- predhodni konstrukcijski deli in načrti
- dokončni dimenzijski konstrukcijski deli in načrti
- detajli.

Vsak korak v procesu snovanja mora omogočati alternativne konstrukcijske rešitve. Za posamezne funkcije tehničnega procesa poiščemo delovne principe, ki rešujejo te funkcije in jih zberemo v morfološki matriki.



Slika 2.4: Detaljni tehnični proces mehatronskega sistema za transport vode

2.3 Morfološka matrika

Iz morfološke matrike (slike ??, ?? in ??) izberemo delovne principe. Povezava posameznih delovnih principov predstavlja koncept. Z variiranjem posameznih delovnih principov lahko zgradimo več različnih konceptov (sliki ?? in ??) [?].

$$R = E_{13} + E_{21} + E_{3n} + E_{nn}$$

KONCEPT REŠITEV IZ MATRIKE

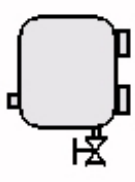
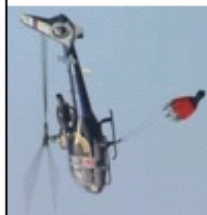

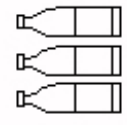
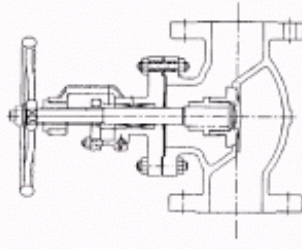
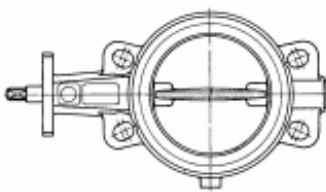
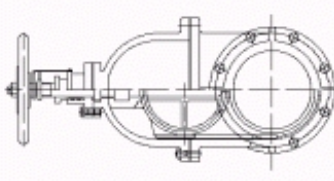

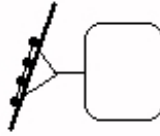
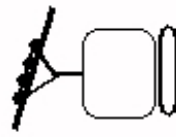
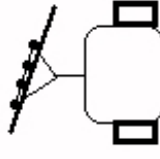

Slika 2.5: Rešitev morfološke matrike

| | | DELOVNI PRINCIPI | | |
|----------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FUNKCIJE | FUNKCIJA 1 | DELOVNI PRINCIP 1 | DELOVNI PRINCIP 2 | DELOVNI PRINCIP n |
| | FUNKCIJA 2 | DELOVNI PRINCIP 1 | DELOVNI PRINCIP 2 | DELOVNI PRINCIP n |
| | FUNKCIJA 3 | DELOVNI PRINCIP 1 | DELOVNI PRINCIP 2 | DELOVNI PRINCIP n |
| | FUNKCIJA n | DELOVNI PRINCIP 1 | DELOVNI PRINCIP 2 | DELOVNI PRINCIP n |

Slika 2.6: Morfološka matrika


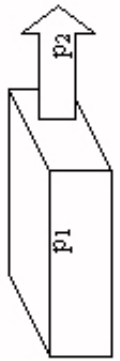
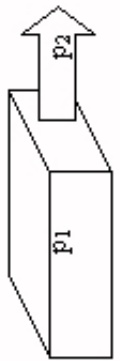


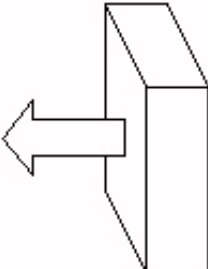
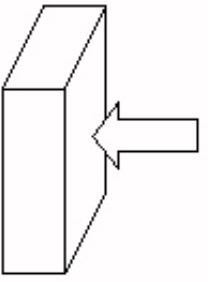
2.4 Zasnova tehničnega sistema

V našem primeru smo iz podane morfološke matrike izdelali štiri koncepte (slike ??, ??, ??, ??, ??, ??, ?? in ??), ki izpolnjujejo podane konstrukcijske zahteve in želje (poglavje ??). Dobljene koncepte bomo v nadaljevanju ocenili in najboljšo konceptualno rešitev tudi podrobneje razdelali ter pripravili delavniške risbe.

| funkcija | | nosilec funkcije / delovni princip | | | | | | | |
|--------------------------|--------------|---|---|--|---|--|---|---|---|
| hranilnik vode | 5 | rezervoar  | 1 | vodna vréča  | 2 | sodi  | 3 | steklenice  | 4 |
| | vrsta zapore | ventil  | 1 | loputa  | 2 | zasun  | 3 | zamašek  | 4 |
| material hranilnika vode | 6 | | 1 | nerjavna pločevina | 2 | steklo | 3 | urnetne mase | 4 |
| | 7 | aluminij | 1 | | 2 | | | | |
| pozicija hranilnika vode | 8 | znotraj kabine  | 1 | pod kabino  | 2 | bočno  | 3 | nad kabino  | 4 |

TRANSPORT VODE Z ŽIČNICO

Slika 2.8: Morfološka matrika - drugi del

| funkcija | nosilec funkcije / delovni princip | | | | | |
|----------------|------------------------------------|---|--|---|--|---|
| | način praznenja | s prostim padom | s podtlakom | z nadtlakom | z viličarjem | ročno |
| IZTOČNI SISTEM | 9 |  s prostim padom 1 |  $p_1 > p_2$ 2 |  $p_1 > p_2$ 3 |  z viličarjem 4 |  ročno 5 |
| | 10 |  zgoraj 1 | bočno | |  spodaj | 3 |

Slika 2.9: Morfološka matrika - tretji del

2.4.1 Koncept 1

Prvi koncept je zasnovan tako, da ima na bočnih stranicah v smeri potovanja, obešena rezervoarja s prostornino $1.5 m^3$. Polnjenje rezervoarjev poteka od zgoraj, kjer imamo odprtino v stropu obeh posod. Najvišja gladina vode je nekoliko nižje od stropnih odprtini, tako da ni težav z razpluskavanjem vode pri nihanju kabine med vožnjo. Praznjenje obeh rezervoarjev poteka ob strani, kjer imamo nameščena zasuna. Dno ima proti izstoku majhen nagib, da voda hitreje odteka. Ker imamo za polnjenje in praznjenje po dve dovolj veliki odprtini, lahko oba procesa potekata zgolj z izkoriščanjem težnostne sile. Ukazi za odpiranje in zapiranje ventila za dotok vode v rezervoarja ter odpiranje in zapiranje zasunov za praznjenje rezervoarjev potekajo samodejno in so vgrajeni v računalniški program, med ukazoma za spuščanje in dviganje peronov.

Delovni principi iz morfološke matrike, ki popisujejo izbrani koncept, so predstavljeni v enačbi ???. Skici, ki ponazarjata delovni princip, pa predstavljata sliki ?? in ??.

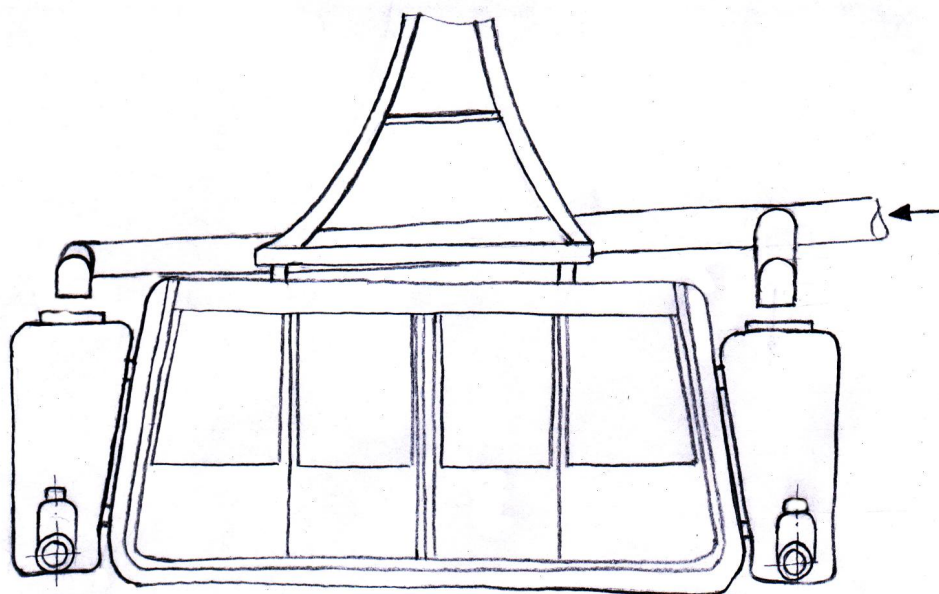
$$R_1 = E_{11} + E_{21} + E_{31} + E_{42} + E_{51} + E_{63} + E_{71} + E_{83} + E_{91} + E_{102} \quad (2.1)$$

2.4.2 Koncept 2

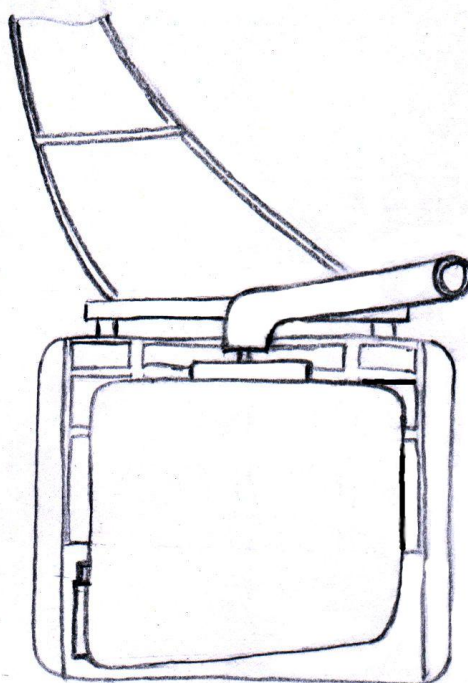
Koncept 2 je zasnovan tako, da polnjenje in praznjenje rezervoarja poteka od strani. Ko je kabina z rezervoarjem na spodnji postaji, s hidravličnimi valji primaknemo cev k rezervoarju. Polnimo z vodo, ki izteka z dovolj veliko hitrostjo, da poteka polnjenje znotraj dovoljenega časovnega intervala. Rezervoar je nameščen pod kabino in ima dno z majhnim nagibom proti iztoku. V rezervoarju so nameščena rebra, ki služijo za ojačitev in preprečujejo razpluskavanje vode. Podobno kot na spodnji postaji, tudi na zgornji postaji s hidravličnimi valji primaknemo cev za praznjenje k rezervoarju. Praznjenje pričnemo z odprtjem lopute, ki je nameščena na rezervoarju. Za odpiranje in zapiranje lopute uporabimo manjše hidravlične valje, ki so nameščeni na cevi za izpust vode iz rezervoarja. Dokler je prerez cevi, na katerem vstopa voda, potopljen pod vodno gladino, poteka praznjenje s podtlakom. To nam zopet omogoča, da ostanemo znotraj zahtevanega časovnega intervala praznenja.

Delovni principi iz morfološke matrike, ki popisujejo izbrani koncept, so predstavljeni v enačbi ???. Skici, ki ponazarjata delovni princip, pa predstavljata sliki ?? in ??.

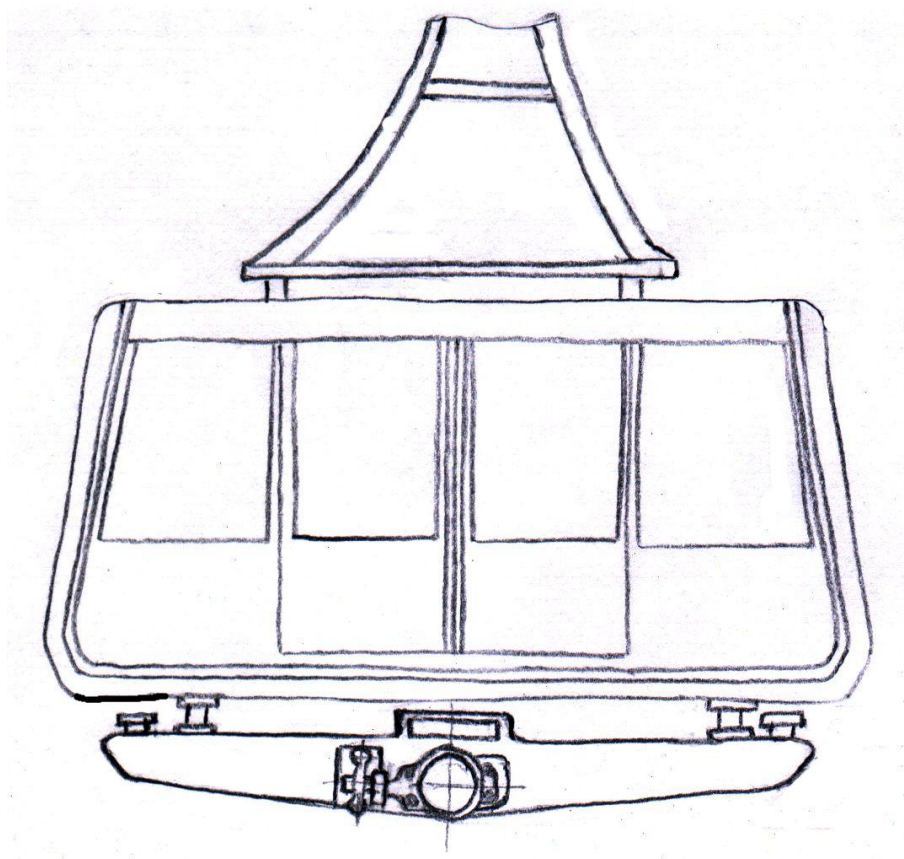
$$R_2 = E_{13} + E_{24} + E_{32} + E_{43} + E_{51} + E_{62} + E_{74} + E_{82} + E_{92} + E_{102} \quad (2.2)$$



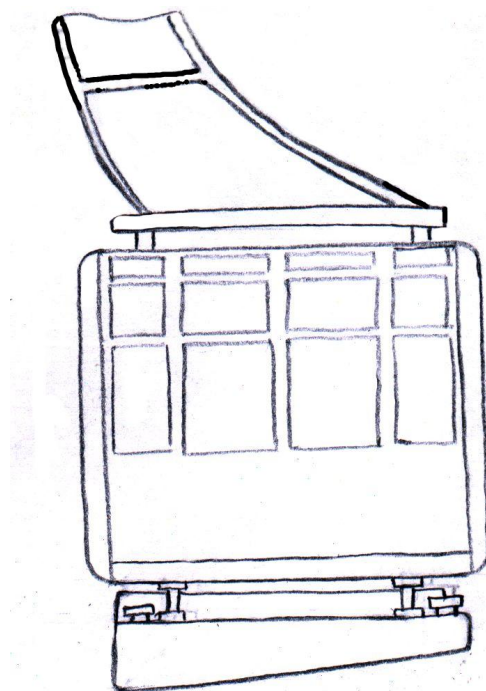
Slika 2.10: Koncept 1 - naris



Slika 2.11: Koncept 1 - stranski ris



Slika 2.12: Koncept 2 - naris



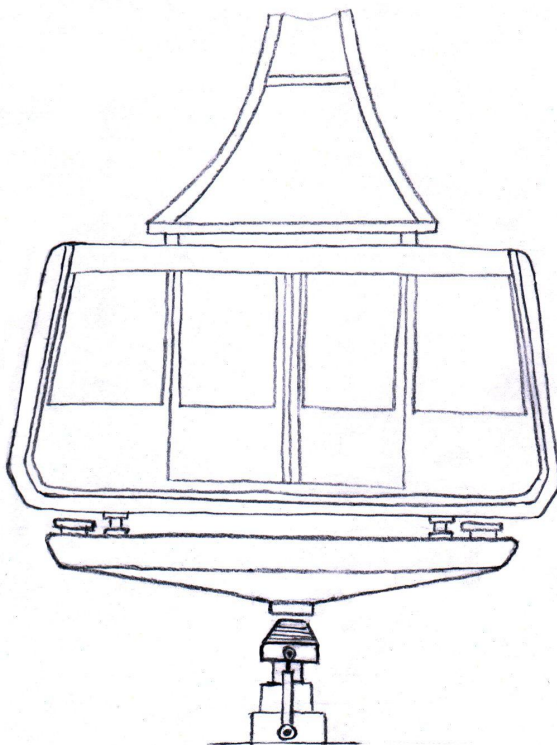
Slika 2.13: Koncept 2 - stranski ris

2.4.3 Koncept 3

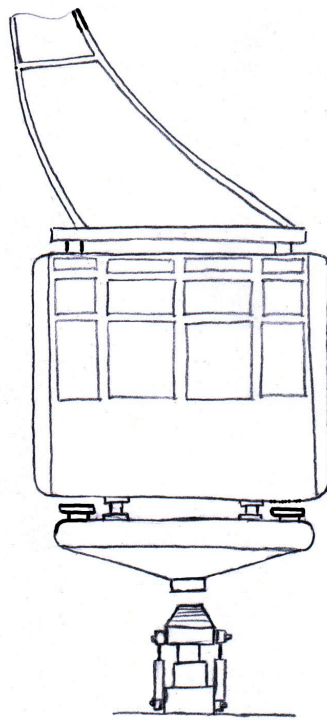
Pri tretjem konceptu imamo izvedeno polnjenje in praznenje s spodnje strani. Tako pri polnjenju kot praznjenju uporabljamo isti priključek na rezervoarju. Priključek je izveden v konus, ki omogoča centriranje in tesnenje. Polnimo z nadtlakom, praznimo pa podobno kot pri drugem konceptu s podtlakom, ki je posledica višinske razlike. Rezervoar ima izvedeno dno z nagibom proti iztoku. Na mestu iztoka je nameščen zasun, ki ga odpiramo in zapiramo z elektromotorjem. Cev za dotok in odtok vode primaknemo in odmaknemo od rezervoarja s hidravličnimi valji.

Delovni principi iz morfološke matrike, ki popisujejo izbrani koncept, so predstavljeni v enačbi ???. Skici, ki ponazarjata delovni princip predstavljata sliki ?? in ??.

$$R_3 = E_{13} + E_{24} + E_{33} + E_{43} + E_{51} + E_{63} + E_{71} + E_{82} + E_{92} + E_{103} \quad (2.3)$$



Slika 2.14: Koncept 3 - naris



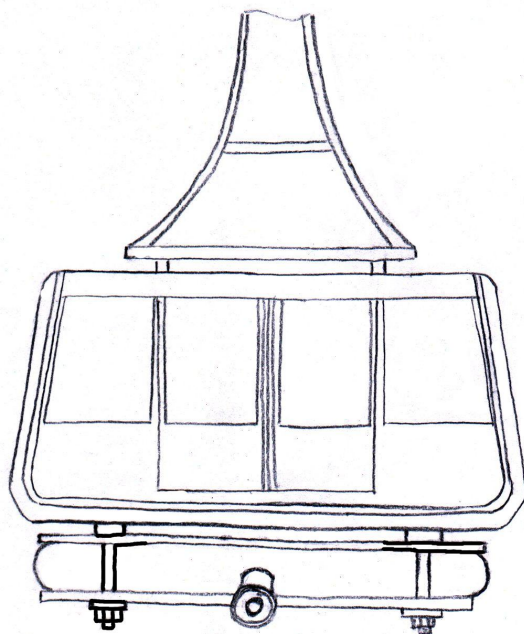
Slika 2.15: Koncept 3 - stranski ris

2.4.4 Koncept 4

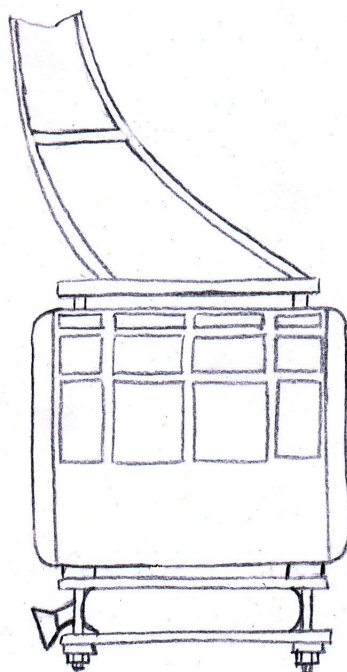
Četrty koncept je rezervoar, ki dobi svojo končno zunanjo obliko šele, ko je napolnjen z vodo. Postavljen je med dve mrežni plošči, narejeni iz nerjavečega jekla. Zgornja plošča je gibljiva in jo vodimo z nastavki za vpetje. Teža vodljive plošče ustvarja nadtlak, kar omogoča uporabo zaklopke, ki nam omogoča odpiranje in zapiranje. Za dotok in iztok uporabljamo isti priključek. Priključek je pritrjen na rezervoar od strani in je izveden v konus. Priključek na cevi, po kateri polnimo in praznimo rezervoar, je prav tako izveden v obliki konusa. S čelno ploskvijo priključka odpiramo zaklopko. Zapiranje je izvedemo z vzmetjo. Primik in odmik priključne cevi je izveden z uporabo hidravličnih valjev.

Delovni principi iz morfološke matrike, ki popisujejo izbrani koncept, so predstavljeni v enačbi ???. Skici, ki ponazarjata delovni princip, predstavljata sliki ?? in ??.

$$R_4 = E_{11} + E_{24} + E_{32} + E_{43} + E_{51} + E_{64} + E_{74} + E_{82} + E_{93} + E_{102} \quad (2.4)$$



Slika 2.16: Koncept 4 - naris



Slika 2.17: Koncept 4 - stranski ris

2.5 Ocenitev konceptov

Izmed predstavljenih konceptov moramo izbrati tistega, ki najbolj zadosti podanim zahtevam in željam iz poglavja ???. Da bi se izognili subjektivnemu ocenjevanju, ki bi lahko določenemu konceptu dajal prednost, bomo ocenjevanje izvedli po metodi AHP (The Analytic Hierarchy Process)[?]. To metodo je razvil Thomas L. Saaty [?]. Bistvo metode je medsebojno primerjanje kriterijev, ki vplivajo na izbiro in medsebojno primerjanje rešitev, glede na vsak kriterij. Druga pomembna značilnost metode je razstavitev zahtevnega problema in sestavitev hierarhije.

- Razstavitev problema na podprobleme in sestavitev hierarhije

Iz podanih konstrukcijskih zahtev in želja izberemo sedem najpomembnejših kriterijev, ki jih bomo uporabili pri ocenjevanju po metodi AHP. Izbrani kriteriji so zapisani v tabeli ???.

Tabela 2.1: Tabela kriterijev

| OZNAKA | KRITERIJ |
|--------|------------------------------|
| k1 | teža rezervoarja |
| k2 | čas polnjenja oz. praznjenja |
| k3 | ustreznost materiala |
| k4 | montaža oz. demontaža |
| k5 | enostavnost izvedbe |
| k6 | izgled |
| k7 | cena |

- Medsebojno primerjanje kriterijev

Sestavi hierarhije sledi parna primerjava kriterijev. S tem postopkom določimo relativni vpliv posameznih kriterijev na odločitev o najprimernejšem konceptu. Za medsebojno primerjanje uporabljamo vrednostno lestvico od 1 do 9 (tabela ???). Ocena, s katero primerjamo kriterije, je številka in izraža pomembnost elementa iz vrstice z elementom v stolpcu (tabela ???). Dobljene vrednosti nato zapišemo v obliki matrike.

Tabela 2.2: Primerjalna lestvica

| INTENZIVNOST | DEFINICIJA |
|--------------|----------------------|
| 1 | enaka sposobnost |
| 3 | zmerna prednost |
| 5 | velika prednost |
| 7 | zelo velika prednost |
| 9 | ekstremna prednost |
| 2,4,6,8 | vmesne vrednosti |

Tabela 2.3: Medsebojna številčna primerjava kriterijev

| | k1 | k2 | k3 | k4 | k5 | k6 | k7 |
|----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|
| k1 | 1 | 1/3 | 1/4 | 3 | 5 | 2 | 1 |
| k2 | | 1 | 1/3 | 3 | 6 | 2 | 2 |
| k3 | | | 1 | 4 | 7 | 2 | 2 |
| k4 | | | | 1 | 2 | 1/4 | 1/5 |
| k5 | | | | | 1 | 1/6 | 1/7 |
| k6 | | | | | | 1 | 1/3 |
| k7 | | | | | | | 1 |

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 & 3 & 5 & 2 & 1 \\ - & 1 & 1/3 & 3 & 6 & 2 & 2 \\ - & - & 1 & 4 & 7 & 2 & 2 \\ - & - & - & 1 & 2 & 1/4 & 1/5 \\ - & - & - & - & 1 & 1/6 & 1/7 \\ - & - & - & - & - & 1 & 1/3 \\ - & - & - & - & - & - & 1 \end{bmatrix}$$

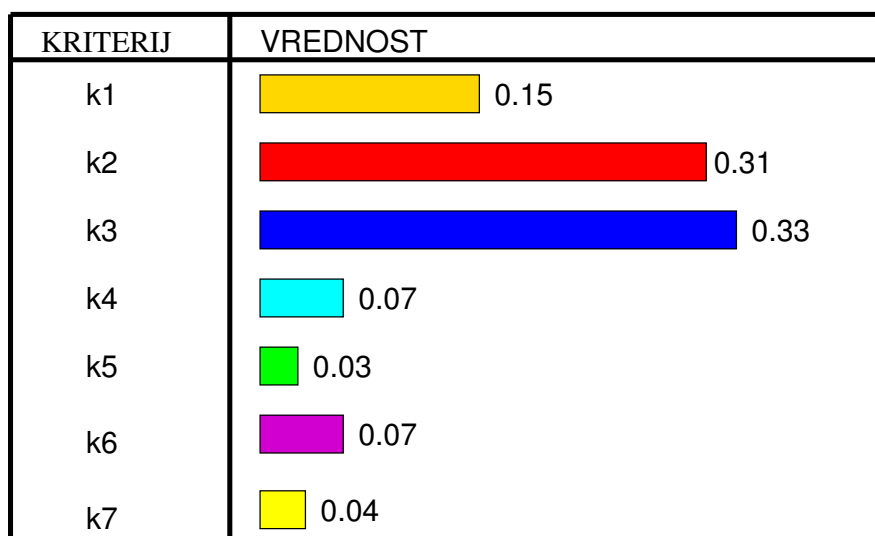
Sedaj moramo za dobljeno matriko izračunati lastne vektorje, ki jih je toliko, kot je postavljenih kriterijev. Pri izračunu pomembnosti posameznega kriterija se računa tudi indeks usklajenosti (CR). Vrednost indeksa mora biti manjša od 0.1. Če je vrednost indeksa višja, je priporočljivo popraviti medsebojne primerjave, da bi ohranili usklajenost ocen. Pomembnost posameznega kriterija predstavlja velikost posameznega lastnega vektorja (slika ??). V našem primeru je najpomembnejši kriterij ustreznost materiala. Material, iz katerega je narejen rezervoar, mora biti primeren za hranjenje pitne vode in mora zdržati mehanske ter vremenske vplive. Temu kriteriju sledi zahteva po čim krajšem času polnjenja in praznjenja, tako da ne prihaja do zastojev pri transportu ljudi. Tretji najvplivnejši kriterij pa je lastna teža rezervoarja. Preostali štirje kriteriji imajo mnogo manjši vpliv na izbiro koncepta.

- Medsebojno primerjanje konceptov

Podobno kot smo storili pri medsebojni primerjavi kriterijev, storimo sedaj z medsebojno primerjavo konceptov. Koncepte primerjamo med seboj glede na vsak kriterij posebej. Indeks usklajenosti mora biti tudi v tem primeru manjši od 0.1. Vrednosti lastnih vektorjev in indeksov usklajenosti za medsebojne primerjave konceptov po posameznih kriterijih so predstavljene v prilogi A.

- Izbira najustrežnejšega koncepta

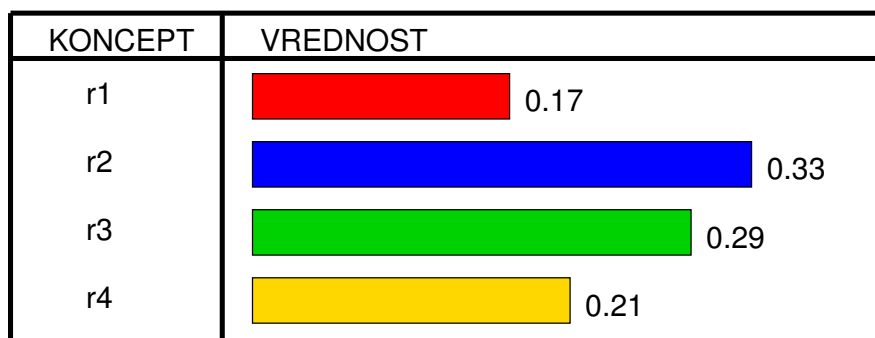
Rezultat primerjav kriterijev in konceptov je vrstni red konceptov od tistega, ki najbolje izpolnjuje podane kriterije, do tistega, ki najslabše izpolnjuje kriterije.



Slika 2.18: Graf pomembnosti posameznih kriterijev

Pri tem moramo vedeti, da je pomemben samo vrstni red in ne odstopanja med posameznimi rešitvami. Celotno ocenjevanje smo izdelali v programskem paketu Saaty.

Iz slike ?? vidimo, da drugi koncept najbolje izpolnjuje kriterije, podane v tabeli ???. Tako bomo v nadaljevanju razvijali ta koncept v detajle in ga nato tudi izdelali.



Slika 2.19: Ustreznost posameznih konceptov glede na izbrane kriterije

Poglavje 3

Dimenzioniranje elementov sistema za transport vode

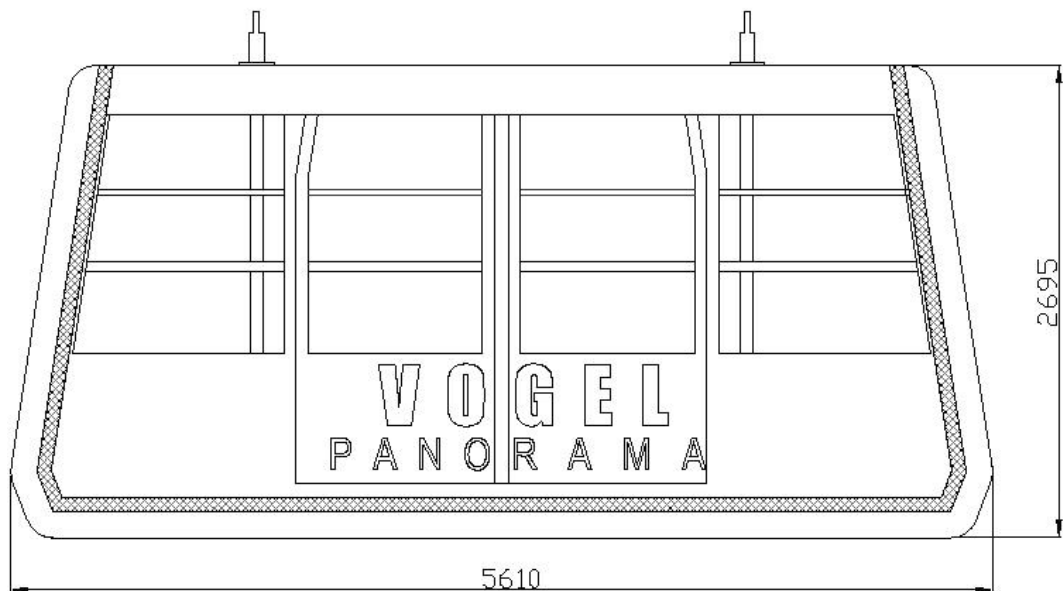
3.1 Struktura sistema za transport vode

Da dosežemo večjo preglednost celotnega sistema za transport vode, bomo celotni sistem predstavili v treh zaključenih podsklopih. Te podsklope smo poimenovali rezervoar ter spodnja in zgornja postaja. Celotna dokumentacija je prikazana v obliki drevesne strukture in je predstavljena v dodatku B. V dodatku so predstavljene tudi nekatere sestavne risbe posameznih podsklopov, medtem ko je vpogled v celotno dokumentacijo mogoč v dogovoru s podjetjem Dr. DUHOVNIK d.o.o.

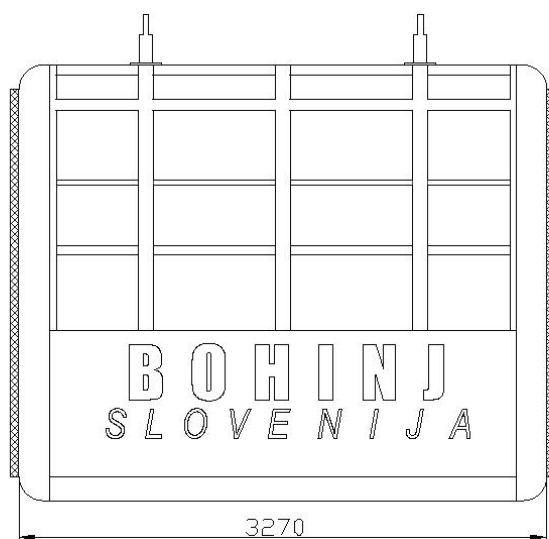
3.2 Rezervoar

Rezervoar mora imeti minimalno koristno prostornino $3m^3$, pri čemer smo omejeni tako dimenzijsko kot tudi z maso. Dolžina in širina rezervoarja sta omejena z dolžino in širino gondolske kabine (slika ?? in ??). Višina rezervoarja je omejena z višinsko razliko med dnom kabine oz. dnom rezervoarja in tlemi na spodnji postaji, ker mora imeti kabina dovolj prostora za iznihanje. Izpolnjevanje pa mora tudi varnostne kriterije, ki zahtevajo toliko prostora med dnom kabine in tlem, da v primeru padca smučarja pod kabino, le-ta smučarja ne stisne. Dovoljena višina rezervoarja je mnogo manjša v primerjavi z dolžino in širino, kar je zelo neugodno, saj to povečuje zgornjo in spodnjo ploskev rezervoarja. Posledica tega je zelo slabo razmerje med volumenom in maso. Da bi kljub vsemu rezervoar tehtal čim manj, smo se odločili, da bo narejen iz kompozitnih materialov. Njihova dobra lastnost je majhna teža v primerjavi z njihovo nosilnostjo.

Ker je rezervoar vpet na spodnjo stran kabine, mora biti skozi rezervoar narejena odprtina, ki ima minimalno dolžino 750 mm in širino 650 mm. Skoznjo mora biti v primeru okvare ali celo nesreče omogočen zasilni izhod potnikov in sprevodnika.



Slika 3.1: Največja dolžina in višina kabine



Slika 3.2: Največja širina kabine

Zaradi zgoraj omenjenih razlogov smo se odločili, da bodo sistemi za polnjenje in praznenje dostopali do rezervoarja od strani in ne od spodaj, medtem ko je od zgoraj dostop onemogočen zaradi kabine. Da bi bilo omogočeno popolno praznenje rezervoarja, smo se odločili, da naj bo dno v vseh točkah nagnjeno proti iztoku. Tako bomo preprečili zmrzovanje vode, ki bi eventuelno ostala v rezervoarju tudi v času, ko je ne vozimo.

Kljub temu, da se celoten rezervoar vidi samo v trenutku dvigovanja s spodnje postaje in ko se na sredini poti srečata prva in druga kabina, smo posebno pozornost namenili tudi obliki rezervoarja. Končna zunanja oblika rezervoarja in barva sta izbrani tako, da se kar najboljše ujemata z obliko in barvo kabine. Bočni stranici rezervoarja sledita naklonu bočnih stranic kabine. Ker iztekanje ne poteka s sredine, je nagib dna v vzdolžni smeri na krajši stranici 3° in na daljši $1, 15^\circ$. Tako dobimo bočni stranici enako visoki, težišče rezervoarja pa je iz težišča kabine manj zamaknjeno, kot če bi bila nagiba dna potekala pod enakim kotom.

3.2.1 Material rezervoarja

Armiran poliester je material, sestavljen iz nenasičenih poliestrskih smol in steklenih vlaken, ki si sledijo v plasteh. S staranjem se mehanske lastnosti skoraj ne spreminjajo, zato imajo proizvodi iz armiranega poliestra dolgo življenjsko dobo [?]. K življenjski dobi prispeva tudi majhna absorpcija vode. Poliester je odporen na temperature od $-40^\circ C$ do $80^\circ C$ ali več. Poleg tega ima dobro odpornost na korozijo in kemikalije (organske in anorganske spojine, lug, kisline...). Poliester ne prevaja električnega toka. Pomembna je tudi njegova majhna specifična teža in z njo majhna teža izdelkov ter enostavna montaža. Zaradi vseh teh lastnosti so stroški vzdrževanja zelo majhni.

Za osnovni material rezervoarja smo uporabili poliestrsko smolo COLPOLY 7225. Temeljne lastnosti smole so podane v tabeli ???. Osnovni material v glavnem služi kot vezni material za prenašanje obtežbe na ojačitvena vlakna in jih varujejo pred vplivi iz okolja [?].

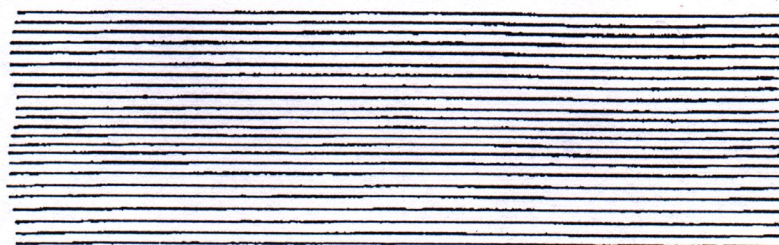
Tabela 3.1: Mehanske lastnosti utrjene poliesterske smole Colpoly 7225

| OZNAKA | gostota [g/cm ³] | natezna trdnost [N/mm ³] | upogibna trdnost [N/mm ³] | modul elastičnosti [N/mm ³] |
|--------------|---------------------------------|--|---|---|
| Colpoly 7225 | 1,20 - 1,22 | 65 - 75 | 100 - 110 | 3600 |

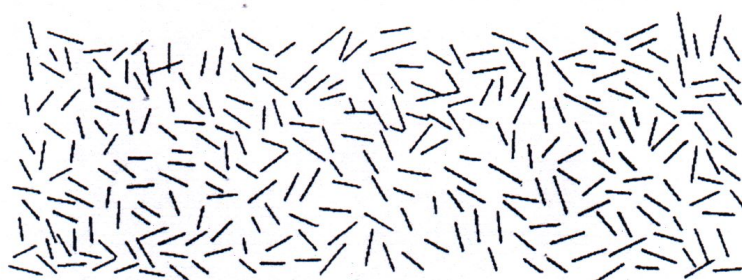
Orientiranost ojačitvenih vlaken je odvisna od obremenitve. Njihove prečne mehanske lastnosti na splošno niso tako dobre kot vzdolžne. Zato jih hočemo orientirati v tiste smeri, v katerih potrebujemo večjo nosilnost. Zaradi tega so se razvili različni tipi ojačitvenih vlaken.

Prva osnovna oblika vlaken, s tujko poimenovana *trovingt*, so kontinuirna, enosmerno orientirana vlakna (slika ?? - a). Proizvodnja kompozitov s to armaturo je ponavadi avtomatizirana. Kompoziti imajo v smeri vlaken zelo dobre mehanske

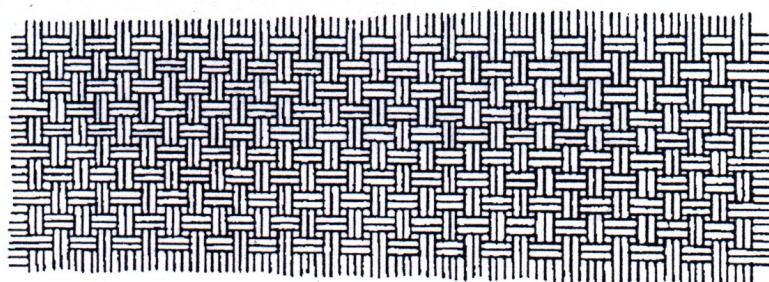
lastnosti, v prečni smeri pa slabše, saj je njihova nosilnost skoraj enaka nosilnosti veznega materiala. Druga osnovna oblika vlaken, s tujko imenovana *'mata'*, so sekana vlakna (slika ?? - b). Vlakna so razrezana na koščke majhnih dolžin, ki so v kompozitu enakomerno porazdeljena in orientirana slučajno. Zaradi tega so mehanske lastnosti v ravnini sloja praktično neodvisne od smeri. Mato navadno nanašamo ročno. Tretja osnovna oblika vlaken, imenovana tkanina, so dvosmerno orientirana vlakna, ki se medsebojno prepletajo v določenem vzorcu (slika ?? - c). Kompoziti s to armaturo imajo boljše mehanske lastnosti kot *'mata'* in slabše kot *'roving'* v smeri vlaken. Poleg teh treh osnovnih oblik imamo tudi oblike vlaken, ki so izpeljane iz osnovnih, treh ali pa so njihova mešanica.



(a)



(b)



(c)

Slika 3.3: Osnovne oblike orientacije vlaken v kompozitnih materialih

Za izdelavo rezervoarja smo uporabili drugo in tretjo obliko vlaken, in sicer v razmerju 2 : 1. To pomeni, da je na vsaki dve plasti mate prišla plast tkanine.

Material vlaken je E-glass . Ta vlakna priporoča za gradbene konstrukcije tudi Eurocomp [?]. Vlakna iz tega materiala imajo veliko trdnost in so neprevodna za elektriko. Osnovne lastnosti steklenih vlaken iz tega materiala so predstavljene v tabeli ??.

Tabela 3.2: Lastnosti steklenih vlaken, narejenih iz materiala E-glass [?]

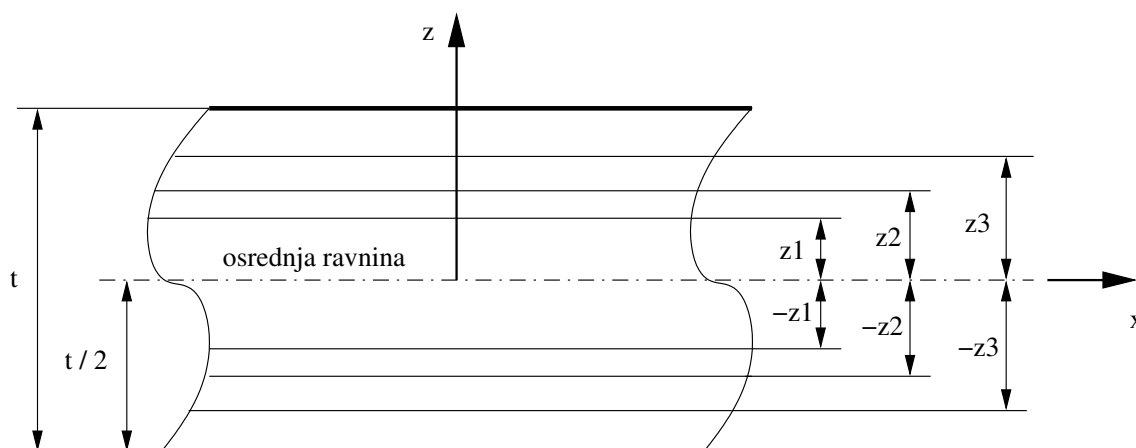
| material | natezna trdnost [N/mm ³] | natezni modul elastičnosti [N/mm ³] | gostota [g/cm ³] |
|----------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------|
| E-glass steklena vlakna | 3400 | 72 000 | 2.54 |

Ker imamo v primeru oblike roving in tkanina usmerjena vlakna, ima tudi laminat, narejen iz takšne armature, različne lastnosti v posameznih smereh. Takšen material je anizotropičen. Z različno usmerjenostjo armature v posameznih slojih pa lahko dobimo simetrične, asimetrične in kvazi - izotropne laminatne [?].

Simetrični laminati

Simetrični laminati imajo geometrijsko in materialno simetrijo glede na osrednjo ravnino. To pomeni, da so material, orientacija in debelina posameznega sloja na določeni pozitivni oddaljenosti (z) od osrednje ravnine enaki kot na negativni oddaljenosti (z) od osrednje ravnine (slika ??). To je zelo pomembno pri konstrukcijah, ki so izpostavljene močnim higrotermalnim silam, saj tako preprečimo nezaželeno zvijanje. Primeri simetričnih laminatov:

$$[0/90/45]_s, [(+45/-45)_2/+45]_s, [\pm 45/0_2/90]_s.$$



Slika 3.4: Razvrstitev slojev simetričnega laminata

Antisimetrični laminati

Ti laminati imajo materiale in debeline posamezne plasti identične na enaki pozitivni in negativni oddaljenosti od srednje ravnine, vendar je njihova orientacija glede

na osrednjo ravnino antisimetrična. To pomeni, če je orientacija sloja na oddaljenosti z enaka v , je na oddaljenosti $-z$, orientacija sloja enaka $-v$. Primera antisimetričnih laminatov:

$$[(0/\pm 30)_2], [(+30/-30/+30)_2].$$

Kvazi - izotropni laminati

Da je laminat kvazi - izotropen, mora biti kot med sosednjimi sloji v laminatu π/N , kjer je N število vseh slojev laminata. Primera kvazi - izotropnih laminatov:

$$[60/0/-60], [90/45/0/-45].$$

Izdelava laminata je potekala ročno. Laminat je zgrajen tako, da je na vsaki dve plasti mate položena plast tkanine. V plasteh laminata, kjer je za armaturo uporabljena mata, je povprečna vsebnost steklene armature 30 odstotkov, preostalo pa predstavlja smola. V plasteh, kjer je za armaturo uporabljena tkanina, je odstotek vsebnosti steklene armature nekoliko višji. Površine rezervoarja so različnih debelin. Tako je debelina stropa rezervoarja tanjša od debeline sten, reber in dna. Zaradi številnih spojev pa so na mnogih mestih ojačane tudi debeline posameznih ploskev. Da bi dobili dejanske podatke o mehanskih lastnostih, bi sedaj morali izdelati epruvete z enako strukturo in izvesti natezni preizkus. Da bi se izognili dragim in zamudnim testom, bomo uporabili podatke, ki so jih že izvedli na Zavodu za gradbeništvo. V dodatku C sta priložena porušitvena testa za enoslojeviti laminat, narejen iz mate, in enoslojeviti laminat narejen, iz tkanine. Za vezni material preizkušancev je bila uporabljena smola Colpoly 7200. To smolo so v tovarni Color prenehali izdelovati in so jo nadomestili s smolami, ki imajo boljše mehanske lastnosti. Vse mehanske lastnosti smole Colpoly 7225, ki smo jo uporabili pri izgradnji rezervoarja, so po zagotovilih proizvajalca od 5 do 10 odstotkov boljše od smole Colpoly 7200. Za preračun tako uporabimo kar vrednosti že narejenih preizkusov, saj so dejanske lastnosti uporabljenega veznega materiala celo nekoliko boljše.

Iz priloženih napetostno - deformacijskih diagramov lahko razberemo, da je vzdolžna natezna trdnost enoplastnega laminata, ki ima za armaturo uporabljeno tkanino $346 N/mm^2$, v prečni smeri pa $287 N/mm^2$. Natezna trdnost enoplastnega laminata, ki ima za armaturo uporabljeno mato ($450 g/m^2$), pa znaša $131 N/mm^2$. Pri preračunu bomo tako upoštevali najnižjo natezno trdnost, to je natezna trdnost laminata, ki bi vseboval armaturo, narejeno samo iz mate. Tako smo upoštevali neenakomernost debelin posameznih ploskev in različno število slojev, obenem pa uporabimo pri preračunu predpostavko o izotropičnosti, ker ima mata orientirana steklena vlakna naključno v vse smeri.

3.2.2 Materialni varnostni faktor

Materialni varnostni faktor izračunamo po enačbi ???. Parcialne faktorje določimo iz priporočil [?].

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3} \tag{3.1}$$

$\gamma_{m1}, \gamma_{m2}, \gamma_{m3}$ so parcialni varnostni faktorji. Varnostni faktor γ_m naj bo večji od 1.5 in manjši od 10.

- Parcialni faktor γ_{m1}

Nanaša se na način določitve mehanskih lastnosti materiala in je odvisen od tega, ali so mehanske lastnosti določene z laboratorijskimi preizkusi ali so dobljene iz teorije. Vrednosti za γ_1 se gibljejo med 1 in 2.25.

Izbrani parcialni varnostni faktor:

$$\gamma_{m1} = 1.5$$

- Parcialni faktor γ_{m2}

Nanaša se na materiale in na način izdelave laminata. Odvisen je tudi od tega, ali je bil laminat termično obdelan zaradi popuščanja zaostalih napetosti. Vrednosti za γ_{m2} se gibljejo med 1.1 in 2.7.

Laminiranje je potekalo z ročnim nanašanjem plasti. Ker je rezervoar namenjen transportu pitne vode, je bil po izdelavi še v postopku parjenja. Parjenje je potekalo 6 ur, pri čemer je imela para temperaturo 120° . Hkrati s tem postopkom je potekala tudi termična obdelava rezervoarja.

Izbrani parcialni varnostni faktor:

$$\gamma_{m2} = 1.4$$

- Parcialni faktor γ_{m3}

Nanaša se na vplive okolja in trajanje obtežbe. Vpliv okolja je odvisen od temperature obratovanja konstrukcije in ocene HTD (heat distortion temperature, standard ISO 75) za uporabljene smole. Vrednosti za γ_{m3} se gibljejo med 1 in 3. Pri nižjih temperaturah je natezna trdnost kompozitnih materialov običajno mnogo večja kot pri višjih, vendar so le - ti bolj krhki [?].

Rezervoar je obremenjen vsako leto le v času od januarja do konca aprila. Iz tabele ?? (dodatek D) lahko razberemo, da je bila najvišja temperatura, ki so jo izmerili na lokaciji Vogel, v mesecih januar, februar, marec in april od leta 1983 pa do leta 2001 18° in najnižja -20° [?]. Tabela za povprečne, maksimalne in minimalne temperature, od leta 1983 do leta 2001, za lokacijo Vogel, je podana v dodatku D. Po oceni se HTD faktor za uporabljene smole nahaja med 70° in 80° . Ker bi lahko voda, zaradi zatajitve delovanja sistema za praznjenje ali ker bi jo upravljalec pozabil izprazniti ostala v rezervoarju, upoštevamo obremenitev kot dolgotrajno.

Izbrani parcialni varnostni faktor:

$$\gamma_{m3} = 2.6$$

Celotni materialni varnostni faktor izračunamo po enačbi ??:

$$\gamma_m = 1.5 \cdot 1.4 \cdot 2.6 = 5.46$$

3.2.3 Obremenitve

V obremenitvah rezervoarja zajamemo hidrostatični pritisk koristnega tovora in lastno težo rezervoarja. Vpliv temperature je minimalen, saj so stene rezervoarja relativno tanke in ni pričakovati večje temperaturne razlike med notranjimi in zunanji površinami posode. Temperaturo okolice smo že upoštevali pri določitvi materialnega varnostnega faktorja. Vpliv vremenskih pojavov, kot so dež, sneženje in veter, je zelo majhen zaradi pozicije in oblike rezervoarja. Rezervoar je nameščen pod kabino, tako da se na njem ne more nabirati deževnica ali sneg. Vpliv vetra je minimalen, saj so bočne stranice rezervoarja relativno ozke in tako nimamo velikih površin, na katere bi lahko delovala obremenitev zaradi vetra.

- Hidrostatični pritisk zaradi vode

Pri obremenitvi s hidrostatičnim pritiskom vode upoštevamo maksimalno višino vodnega stolpca, ki je na mestu iztoka, in znaša 350 mm (enačba ??). Takšno obremenitev predvidimo po celotni površini dna rezervoarja, kar predstavlja obremenitev 45 kN. Sestavna risba rezervoarja je predstavljena v dodatku E (risba 002.000). Višina rezervoarja se od iztočne točke zaradi naklonov manjša proti robovom rezervoarja. Tako predpostavljene obremenitve ne moremo preseči, saj bi pri nadaljnem dolivanju vode, le - ta pričela iztekati skozi odprtino za dotok vode. Maksimalna dovoljena obremenitev rezervoarja je nekoliko nižja in znaša 30 kN. Varnostni faktor zaradi obremenitve tako znaša 1.5. Gibanje tekočine v rezervoarju je preprečeno s številnimi ojačitvenimi rebri in z počasnim pospeševanjem ter zaviranjem na začetku in koncu potovanja kabine.

$$p_{hs} = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h_{max} \quad (3.2)$$

- Lastna teža

Gostota smole, ojačane s tkanino, znaša $\rho = 1.6 \text{ kg/dm}^3$. Porazdelitev lastne teže po rezervoarju je izvedena z debelinami sten računalniškega modela. Ker tako dovolj natančno popišemo realno obremenitveno stanje, je varnostni faktor zaradi obremenitve enak 1.

3.2.4 Računski model rezervoarja

Za statično kontrolo dopustnih napetosti v posameznem sloju laminata obstaja več različnih kriterijev:

- kriterij dopustnih napetosti
- Hart - Smithov deformacijski kriterij
- kriterij dopustnih deformacij

- kriterij Tsai - Hill
- kriterij Hill in Mises
- kriterij Tsai- Wu.

Po priporočilih Eurocomp [?] naj bi se uporabljal Hart - Smithov deformacijski kriterij in Tsai - Wujev kriterij porušitve.

V našem primeru smo se odločili, da bomo za preračun uporabili kar dopustno napetost najšibkejšega sloja v laminatu, to je sloja, v katerem smo za armaturo uporabili stekleno mato. Dopustno napetost izračunamo po enačbi ???. Razlog za takšno odločitev je v zahtevni izdelavi rezervoarja. Debelina posamezne ploskve je zelo spremenljiva zaradi poznejšega dolaminiranja ojačitvenih reber in posameznih delov ploskev. Tako ne moremo z gotovostjo trditi, da je sestava in razpored posameznih slojev laminata konstantna za posamezno ploskev. O procesu izdelave bomo podrobneje govorili v poglavju ???. Prednost uporabe kriterija dopustne napetosti sloja, ki ima za armaturo mato, je v predpostavki, da je material rezervoarja izotropen.

$$\sigma_{dop} = \frac{\sigma_M}{\gamma_m} \quad (3.3)$$

$$\sigma_{dop} = \frac{131N/mm^2}{5.46} = 23.99N/mm^2$$

Za analizo deformacijsko-napetostnega stanja v rezervoarju smo naredili preračun po metodi končnih elementov. Preračun smo izvedli v programskem paketu IDEAS. Uporabili smo štiri - vozliščne končne elemente za lupine. Pri izračunu smo prav tako upoštevali simetrijo rezervoarja, saj smo tako dobili mnogo manjše število elementov in s tem krajše čase mreženja ter računanja. Nadaljnji korak k zmanjšanju števila elementov smo naredili z uporabo urejene ali strukturirane mreže, ki smo jo na kritičnih mestih zgostili. Simetrijska ravnina poteka vzporedno z daljšo stranico, in sicer po sredini rezervoarja. To ne ustreza točno dejanskemu stanju, saj ima dno rezervoarja 3° naklona proti iztoku, vendar ima to zanemarljiv vpliv na končne rezultate. Vpetje rezervoarja na kabino je izvedeno s štirimi vijaki. Na mestu vpetja so se pojavile največje napetosti. Da bi obremenitve prenesli na kar največje območje, smo na tem mestu v rezervar vlaminirali jeklene puše. Mesto vpetja ponazarjata sestavna risba 002.000 - prerez G-G in sestavna risba 003.010.x. Obe risbi se nahajata v dodatku E.

S pomočjo krivulj napetost - raztezek (dodatek C) smo ocenili modul elastičnosti ($E = 10000N/mm^2$). Vrednost za Poissonov koeficient (0.3) smo povzeli po podatkih naročnika, ki jih je ocenil na podlagi prejšnjih laboratorijskih testov.

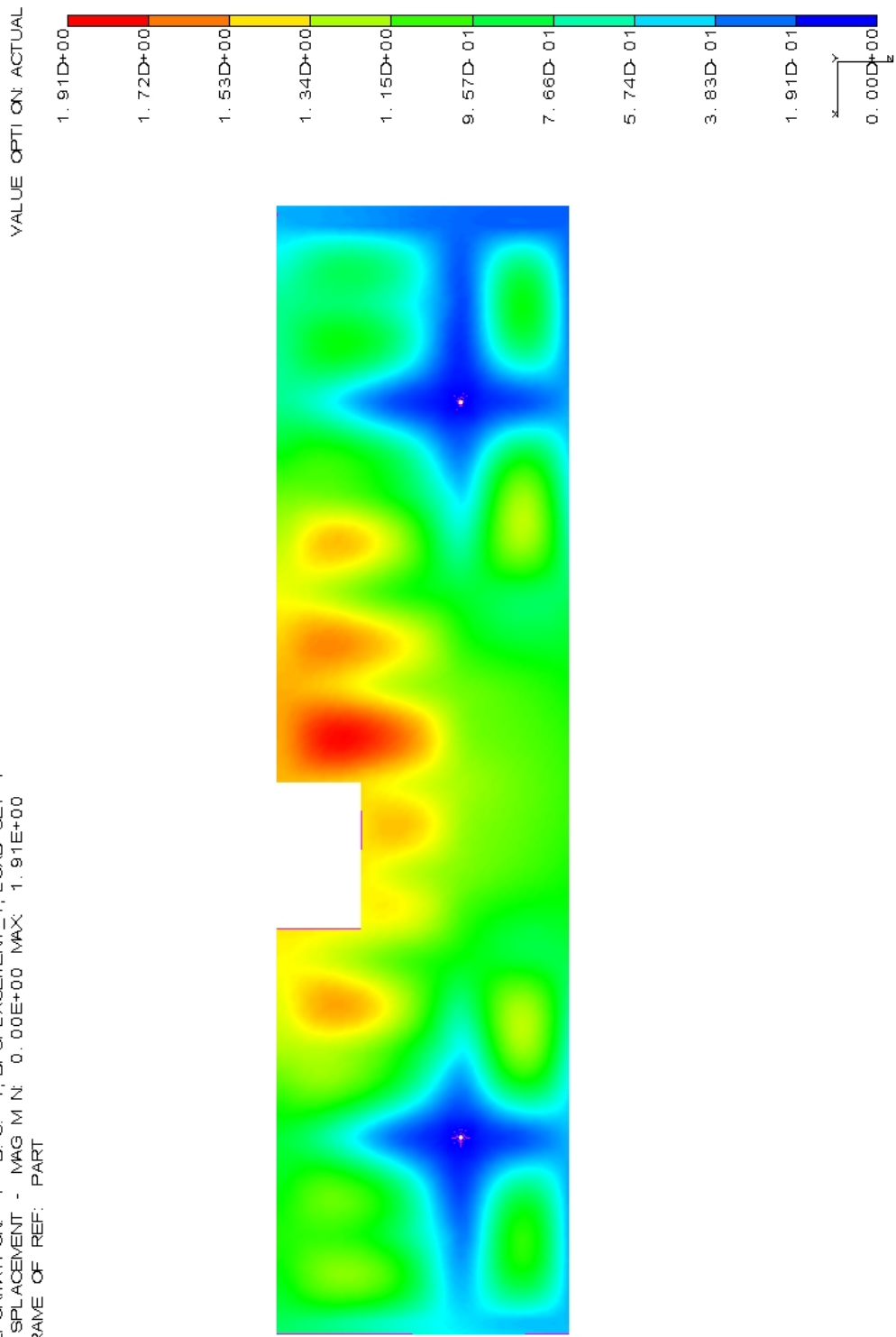
Pri iskanju optimalne oblike rezervoarja se je pri prvih modelih izkazalo, da bo poleg dopustne napetosti pomemben kriterij tudi dopustna deformacija. Maksimalna dopustna deformacija je 2 mm. Ker bi povečevanje debelin ploskev rezervoarja privedlo do velikega porasta teže, smo se pri konstruiranju rezervoarja raje odločili za vgradnjo mreže ojačitvenih reber. Kljub temu, da smo pri dimenzioniranju rezervoarja

preučevali več modelov z različno postavitvijo in številom reber, bomo v nadaljevanju podrobneje prikazali samo model, ki je bil potem tudi narejen. Na sliki ?? je predstavljen potek deformacij po polovici modela rezervoarja. Debelina stropa modela rezervoarja je 4 mm, debelina ojačitvenih reber in sten je 6 mm, debelina dna pa znaša 10 mm. S slike je razvidno, da se največje deformacije pojavijo na sredini rezervoarja, kar je bilo tudi pričakovati, saj je središče najdlje oddaljeno od točk vpetja, kjer je pomik enak nič. Maksimalna deformacija je tako pri največji obremenitvi 1.91 mm in je ravno pod največjo dopustno deformacijo.

S slike ?? je razvidno, da se največje napetosti pojavijo na mestih vpetja, drugje pa so mnogo manjše od dopustnih napetosti. Maksimalne napetosti so $20.06N/mm^2$ in so manjše od dopustne napetosti, ki je $23.99N/mm^2$.

H:\2001-02\Projekti\Vogel\model\model_2f_03.rtf

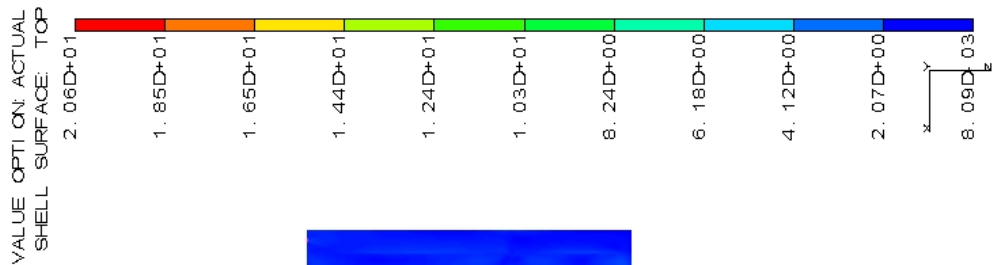
RESULTS: 1- B.C. 1, DI SPLACEMENT_1, LOAD SET 1
DI SPLACEMENT - MAG MIN: 0.00E+00 MAX: 1.91E+00
DEFORMATION: 1- B.C. 1, DI SPLACEMENT_1, LOAD SET 1
DI SPLACEMENT - MAG MIN: 0.00E+00 MAX: 1.91E+00
FRAME OF REF: PART



Slika 3.5: Potek deformacij po polovici rezervoarja pri največji obremenitvi

H:\2001-02\Projekt\ Vogel\ model\ model 2f_03.nf 1

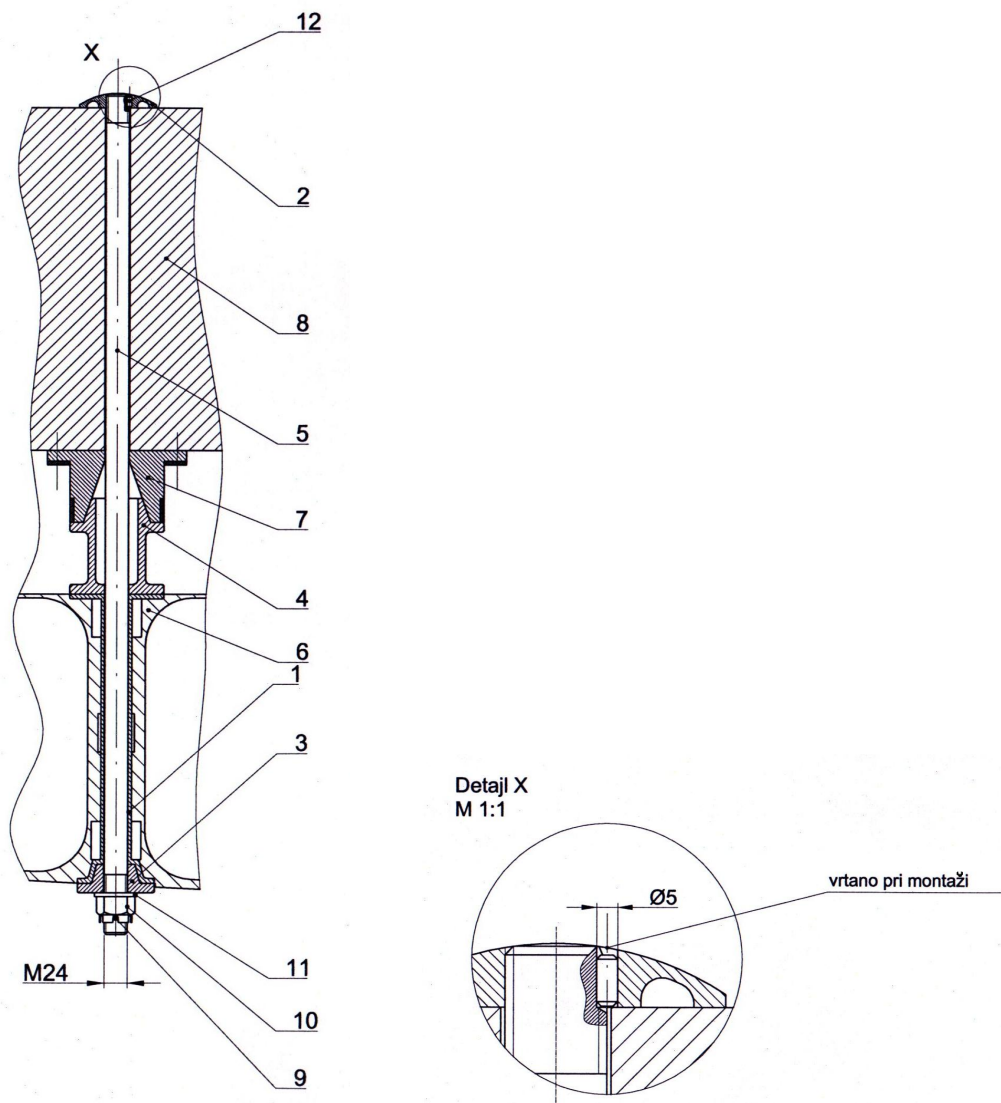
RESULTS: 3- B. C. 1, STRESS_3, LOAD SET 1
STRESS - VON MISES M N: 8.09E-03 MAX: 2.06E+01
DEFORMATI ON: 1- B. C. 1, DI SPLACEMENT_1, LOAD SET 1
DI SPLACEMENT - MAG M N: 0.00E+00 MAX: 1.91E+00
FRAME OF REF: PART



Slika 3.6: Potek napetosti po polovici rezervoarja pri največji obremenitvi

3.2.5 Kontrola elementov vpetja

Teži rezervoarja in tovora se prenašata na kabino preko štirih stojnih vijakov. Priključni elementi so predstavljeni na sliki ??, sestavna risba (003.000) pa je predstavljena v dodatku E.



Slika 3.7: Vpetje rezervoarja na kabino

Kontrola površinskega tlaka med pušo in rezervoarjem

V rezervoar (poz.6, slika ??) so vlamirane štiri kovinske puše (poz.1, slika ??). Dvanajst jeklenih ploščic (poz.3 in 4, risba 003.010.x v dodatku E) preprečuje puši zasuk. Ker je horizontalna površina teh ploščic minimalna, jih pri preračunu tlaka zanemarimo. Površina, ki jo upoštevamo pri kontroli tlaka med pušo in rezervoarjem, je horizontalna projekcija spodnjega nastavka, v katerega pride pri montaži konusna puša (poz.3, slika ??). Celotna obremenitev se prenaša na vse štiri točke vpetja.

| | |
|------------------------|----------------------|
| masa rezervoarja | $m_r = 714kg$ |
| masa vode | $m_v = 4500kg$ |
| dop. tlak za poliester | $p_{dop} = 14N/mm^2$ |
| zunANJI premer puše | $D = 80mm$ |
| notranji premer puše | $d = 26mm$ |
| gravitacijski pospešek | $g = 9.81m/s^2$ |

$$F = F_r + F_v = m_r \cdot g + m_v \cdot g = 714 \cdot 9.81 + 4500 \cdot 9.81 = 51149.34N$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (80^2 - 26^2) = 4495.62mm^2$$

$$p = \frac{F}{4 \cdot A} = \frac{51149.34}{4 \cdot 4495.62} = 2.84N/mm^2$$

$$p < p_{dop}$$

Kontrola površinskega tlaka med podložko in konusno pušo

Sedaj kontroliramo površinski pritisk med podložko (poz.11, slika ??), ki je nameščena pod kronsko matico in konusno pušo (poz.3, slika ??). Puša je narejena iz Al Si 12. Celotna obremenitev se prenese na vse štiri točke vpetja.

| | |
|---------------------------------|-----------------------|
| obremenitev | $F = 51149.34kg$ |
| meja plastičnosti za AlSi12 [?] | $\sigma_T = 80N/mm^2$ |
| varnost | $\gamma = 5$ |
| zunANJI premer podložke | $D = 44mm$ |
| notranji premer puše | $d = 26mm$ |

$$p_{dop} = \frac{\sigma_T}{\gamma} = \frac{80}{5} = 16N/mm^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (44^2 - 26^2) = 989.60mm^2$$

$$p = \frac{F}{4 \cdot A} = \frac{51149.34}{4 \cdot 989.60} = 12.92N/mm^2$$

$$p < p_{dop}$$

Kontrola površinskega tlaka med matico S M24x2 in dnOM kabine

Dno kabine predstavlja kovičena škatlasta konstrukcija iz aluminija. Matica (poz.2, slika ??) je narejena iz W.NR.1.4104. Njene dimenzije so predstavljene na delavniški risbi številka 003.001 v prilogi E. Poleg obremenitve zaradi lastne teže rezervoarja in koristnega tovora tu upoštevamo še težo smučarja, ki stopi s stopalom na matico. Predvidema masa smučarja je 100kg.

| | |
|---------------------|----------------------|
| obremenitev | $F = 51149.34kg$ |
| masa smučarja | $m_s = 100kg$ |
| dop. tlak za AlSi12 | $p_{dop} = 16N/mm^2$ |
| premer 1 | $D_1 = 80mm$ |
| premer 2 | $d_1 = 65mm$ |
| premer 3 | $D_2 = 40mm$ |
| premer 4 | $d_2 = 26mm$ |

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - d_1^2) + (D_2^2 - d_2^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (80^2 - 65^2) + (40^2 - 26^2) = 2433.95mm^2$$

$$F_c = m_s \cdot g + \frac{F}{4} = 100 \cdot 9.81 + \frac{51149.34}{4} = 13768.34N$$

$$p = \frac{F_c}{A} = \frac{13768.34}{2433.95} = 5.66N/mm^2$$

$$p < p_{dop}$$

Kontrola površinskega tlaka med navoji matice in stojnim vijakom

Material, iz katerega je narejena matica (poz.2, slika ??), je nerjavno jeklo W.NR. 1.4104 (DIN X 12 CrMoS 17)[?]. Iz enakega materiala je narejen stojni vijak (poz.5, slika ??). Stojni vijak ima na spodnji strani, kjer pride privijačena kronska matica, normalni metrski navoj (M24), medtem ko ima na zgornji strani fini metrski navoj (M24x2). Da ne bi povzročali velike ovire za potnike, je višina matice v kabini le 15 mm, njena oblika pa je polkrožna. Ker zadnji navoj ne nosi v celoti, ga zaradi varnosti pri preračunu ne upoštevamo, kot tudi ne upoštevamo višine posnetja vijaka. Od celotne površine navojev v ujemanju pa moramo odšteti še površino, ki jo izgubimo zaradi vrtanja luknje za zatič. Po priporočilih [?] naj bi bila minimalna višina matice $m > 0.6 \cdot d$, pri čemer je s simbolom d označen premer vijaka. Ker je naša višina manjša in ker vijak ni standarden, moramo kontrolirati površinski tlak na navoje.

| | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| obremenitev | $F = 51149.34kg$ |
| meja plastičnosti (W.NR. 1.4104) | $\sigma_T = 500N/mm^2$ |
| varnost | $\gamma = 5$ |
| fini metrski navoj M24 x 2 | |
| število vijakov | $n = 4$ |
| korak navoja | $P = 2mm$ |
| višina trikotnega profila | $H = 0.86603 \cdot P = 1.731mm$ |

$$p_{dop} = \frac{\sigma_T}{\gamma} = \frac{500}{5} = 100N/mm^2$$

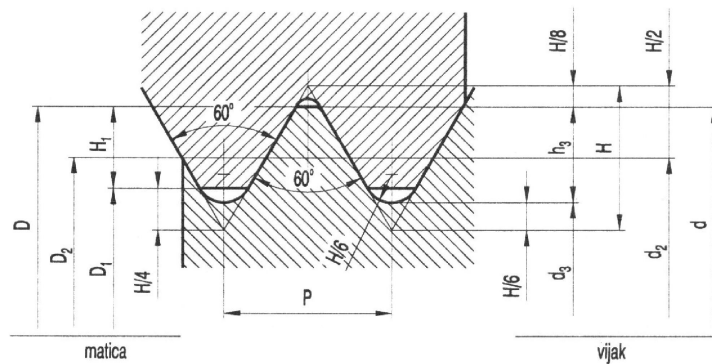
Število navojev v oprijemanju izračunamo z računsko višino matice in s korakom navoja.

$$H_{maks} = 15mm$$

$$H_{rac} = H_{maks} - P - 1mm = 12mm$$

$$n = \frac{H_{rac}}{P} = \frac{12}{2} = 6$$

Pravokotno projekcijo višine navoja v ujemanju izračunamo iz podane višine trikotnega profila in geometrije metrskega navoja (slika ??) [?].



Slika 3.8: Metrski profil navoja

$$H_u = H - \frac{H}{4} - \frac{H}{8} = 1.731 - \frac{1.731}{4} - \frac{1.731}{8} = 1.082mm$$

Iz poznane višine navoja v ujemanju ter števila navojev v ujemanju sedaj lahko izračunamo površino navoja v ujemanju. Pri izračunu celotne površine moramo odšteti še površino, ki jo izgubimo pri vrtnanju luknje zatiča. Tako dobljeno vrednost nato uporabimo za kontrolo tlaka na površino navoja.

$$d_z = 24mm$$

$$d_n = d_z - 2 \cdot H_u = 24 - 2 \cdot 1.082mm = 21.836mm$$

$$d_{zat} = 5mm$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot n \cdot d_{zat}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 6 \cdot 5^2 = 117.81mm^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d_z^2 - d_n^2) - A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (24^2 - 21.836^2) - 117.81 = 349.61mm^2$$

$$p = \frac{F}{4 \cdot A} = \frac{51149.34}{4 \cdot 349.61} = 36.58N/mm^2$$

$$p < p_{dop}$$

Kontrola stojnega vijaka na nateg

Kontrolo vijakov na nateg naredimo brez upoštevanja sile prednapetja. Za vijake, ki so narejeni iz nerjavnega jekla W.NR. 1.4104, imamo podane naslednje podatke:

| | |
|----------------------------------|------------------------|
| obremenitev | $F = 51149.34kg$ |
| natezna trdnost | $\sigma_M = 750N/mm^2$ |
| meja plastičnosti (W.NR. 1.4104) | $\sigma_T = 500N/mm^2$ |
| varnost | $\gamma = 5$ |
| število vijakov | $n = 4$ |
| računski premer vijaka | $A_j = 353mm^2$ |

$$\sigma_{dop} = \frac{\sigma_T}{\gamma} = \frac{500N/mm^2}{5} = 100N/mm^2$$

$$\sigma = \frac{F}{n \cdot A_j} = \frac{51149.34}{4 \cdot 353} = 36.22N/mm^2$$

$$\sigma < \sigma_{dop}$$

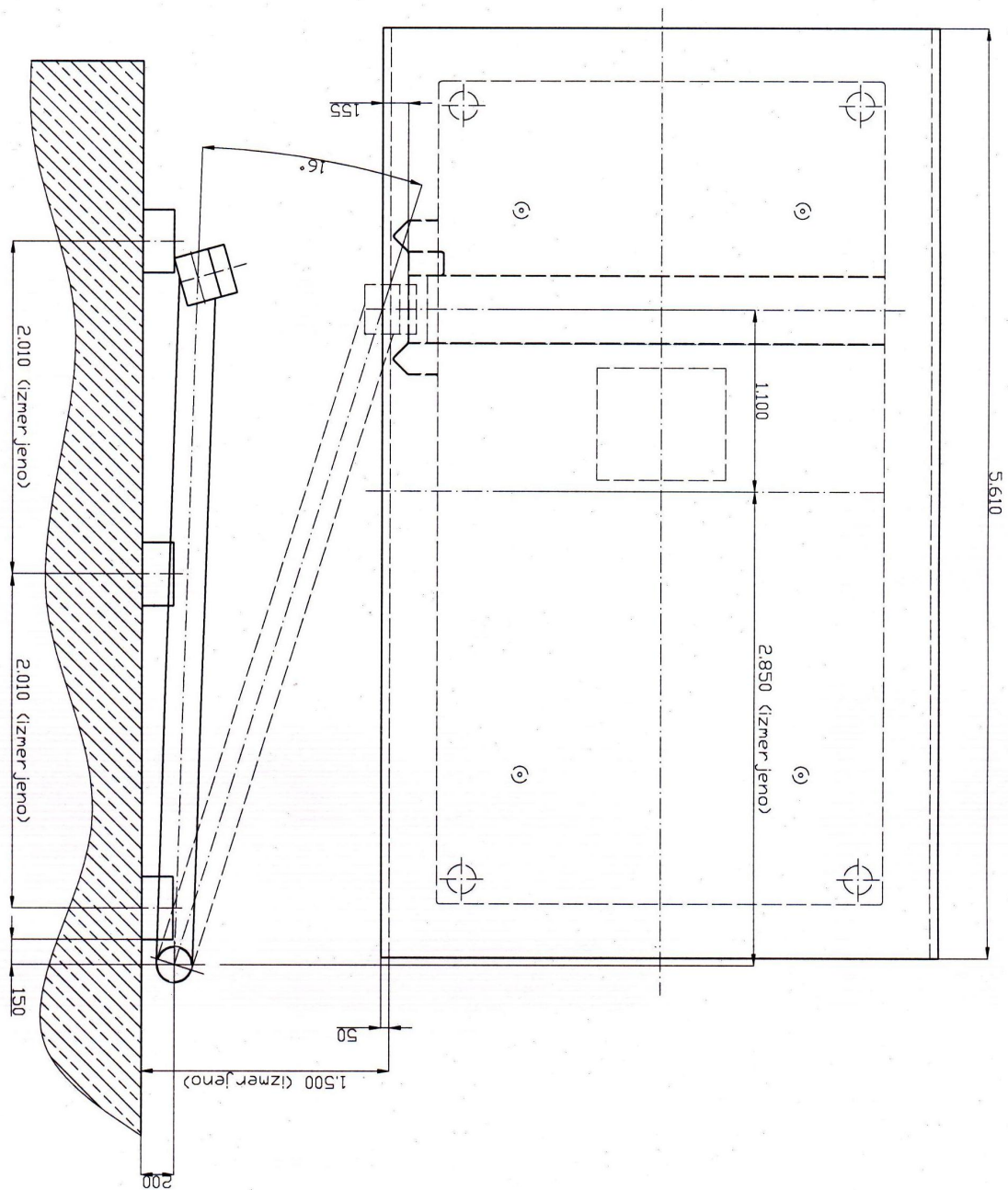
Pri kontroli elementov vpetja rezervoarja na kabino se je izkazalo, da so kontrolirani površinski tlaki in natezne napetosti nižje od dopustnih površinskih tlakov in dopustnih napetosti.

3.3 Spodnja postaja

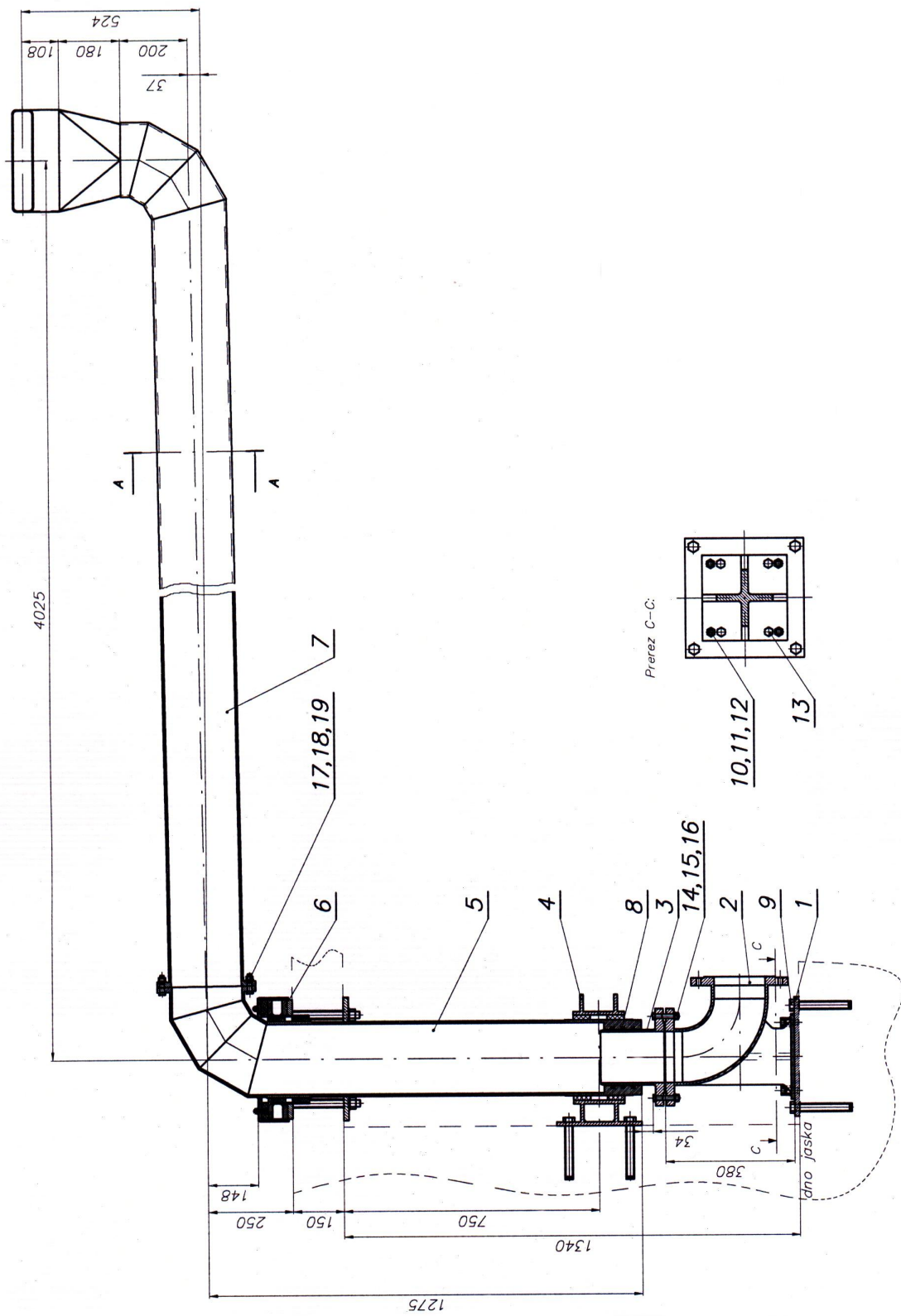
Funkcija elementov spodnje postaje je omogočiti pretok vode iz stacionarnega rezervoarja, ki se nahaja na spodnji postaji, v rezervoar, ki je vpet na kabino. Ta pretok je omogočen z rotacijo elementov spodnje postaje okoli vpetišča (slika ??). Elementi spodnje postaje so predstavljeni na sliki ?? in na sestavni risbi 005.420, ki se nahaja v dodatku E.

V času 180 s moramo skozi cev premera 206.5 mm pretočiti 3000l vode. Tako ima voda na izstopu v rezervoar hitrost okoli 0.5 m/s. Ker bi potekalo polnjenje iz lokalnega vodovoda predolgo, saj je nadtlak v njem na nadmorski višini postaje ter pretok premajhen, zato le - ta polni stacionarni rezervoar. Ko pride kabina s praznim rezervoarjem na spodnjo postajo, se po spustitvi peronov, približa rezervoarju roka. Ko je vtok roke (poz.3, risba 005.480, priloga E) v rezervoarju, se odpre elektromagnetni ventil, ki spusti vodo iz stacionarnega rezervoarja, ki je pod tlakom.

V trenutku, ko je cev polna vode, je tudi najbolj obremenjena, saj mora poleg lastne teže prenašati še težo vode. Pri takšni največji obremenitvi bomo kontrolirali povos. V kolikor bi bil povos cevi večji od 15 mm, bi se cev dotaknila rezervoarja in bi lahko prišlo do poškodbe rezervoarja. Pri polni obremenitvi bomo kontrolirali še prirobične vijake na spoju med vertikalno cevjo (poz.5, slika ??) in horizontalno cevjo (poz. 6, slika ??). Izvedli bomo še kontrolo na dopustni površinski pritisk v ležajih.



Slika 3.9: Floris spodnje postaje

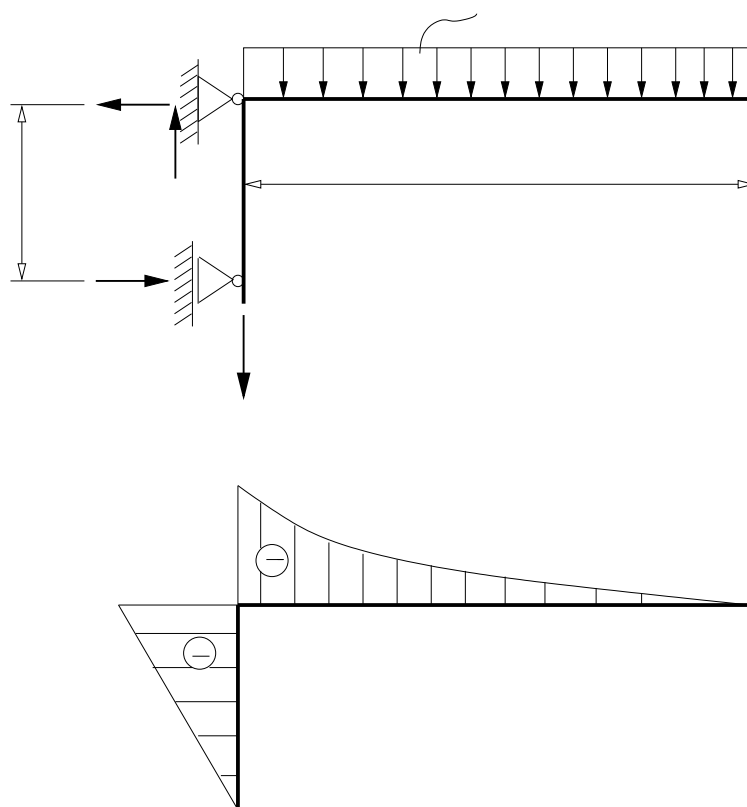


Slika 3.10: Sestavna risba elementov za dotok vode v rezervoar na spodnji postaji

Kontrola horizontalne cevi $\phi 219$ na upogib

Horizontalna cev $\phi 219$ je predstavljena na sliki ??, pozicija 7. Potek obremenitev in momentov je predstavljen na sliki ??. Poves računamo na mestu delovanja sile F_1 . Enačbo povesa izpeljemo po teoriji virtualnih pomikov. Lastno težo horizontalne cevi in težo vode upoštevamo kot zvezno obremenitev, medtem ko težo iztočnih elementov in težo vertikalne cevi upoštevamo kot točkovno obremenitev.

| | |
|--|--------------------|
| zvezna obremenitev lastne teže horizontalne cevi | $q_1 = 340N/m$ |
| zvezna obremenitev lastne teže vode | $q_2 = 330N/m$ |
| teža iztočnih elementov | $F_1 = 255N$ |
| teža vertikalne cevi | $F_2 = 590N$ |
| modul elastičnosti | $E = 210000N/mm^2$ |
| zunanji premer cevi | $D = 219mm$ |
| notranji premer cevi | $d = 206.5mm$ |



Slika 3.11: Potek obremenitev in notranjih momentov

Izračun reakcij

$$A_y - F_1 - F_2 - (q_1 + q_2) \cdot 4.025 = 0$$

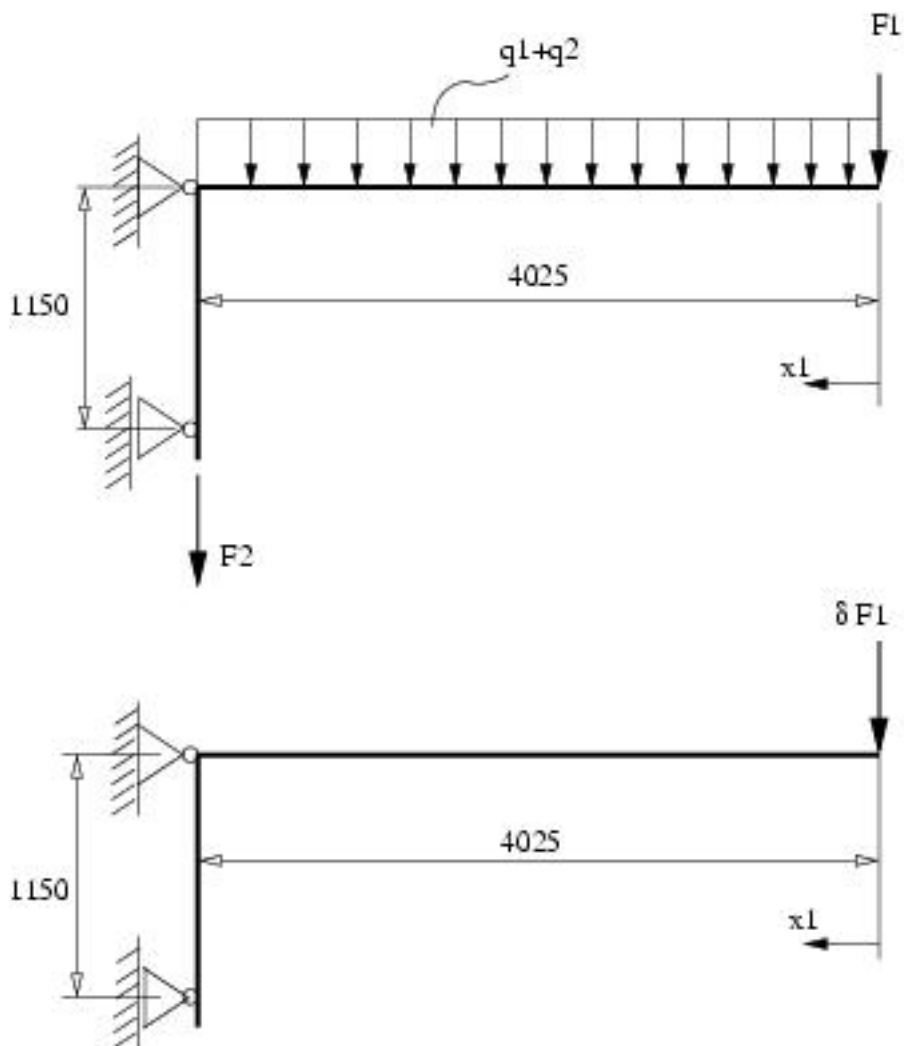
$$A_y = F_1 + F_2 + (q_1 + q_2) \cdot 4.025 = 255 + 590 + (340 + 330) \cdot 4.025 = 3512N$$

$$M_B = F_1 \cdot 4.025 + (q_1 + q_2) \cdot \frac{4.025^2}{2} - A_x \cdot 1,150 = 0$$

$$A_x = \frac{F_1 \cdot 4.025 + (q_1 + q_2) \cdot \frac{4.025^2}{2}}{1.150} = \frac{255 \cdot 4.025 + (340 + 330) \cdot \frac{4.025^2}{2}}{1.150} = 5612N$$

$$B_x = A_x = 5612N$$

Na sliki ?? sta predstavljena realni in virtualni sistem. Poves izračunamo iz enakosti notranjih in zunanjih energij, po enačbi ??.



Slika 3.12: Realni in virtualni sistem

$$W_n = W_z \quad (3.4)$$

$$W_z = f \cdot \delta F \quad (3.5)$$

$$W_n = \int_x \left(\frac{N \cdot \delta N}{A \cdot E} + \frac{M \cdot \delta M}{I \cdot E} \right) dx \quad (3.6)$$

Najprej bomo izračunali potek momentov po prvem polju nosilca realnega in virtualnega sistema. Dobljeni enačbi za moment bomo nato vstavili v enačbo ???. Modul elastičnosti in vztažnostni moment sta po celotni dolžini konstantna.

$$M_1 = -F_1 \cdot x_1 - (q_1 + q_2) \cdot \frac{x_1^2}{2}$$

$$\delta M_1 = -\delta F_1 \cdot x_1$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} \cdot 219^4 - 206.5^4 = 23655016.35 \text{ mm}^4$$

$$W_n = \int_{x_1} \left(\frac{M_1 \cdot \delta M_1}{I \cdot E} \right) dx = \int_{x_1} \left(\frac{F_1 \cdot \delta F_1 \cdot x_1^2 + (q_1 + q_2) \cdot \delta F_1 \cdot \frac{x_1^3}{2}}{I \cdot E} \right) dx = \frac{F_1 \cdot \delta F_1 \cdot \frac{x_1^3}{3} + (q_1 + q_2) \cdot \delta F_1 \cdot \frac{x_1^4}{8}}{I \cdot E}$$

Dobljeno enačbo za notranjo energijo sedaj izenačimo z zunanjo energijo in dobimo enačbo za povos obravnavanega primera.

$$f = \frac{F_1 \cdot \frac{x_1^3}{3} + (q_1 + q_2) \cdot \frac{x_1^4}{8}}{I \cdot E} = \frac{255 \cdot \frac{4025^3}{3} + (0.34 + 0.33) \cdot \frac{4025^4}{8}}{23655016.35 \cdot 210000} = 5.41 \text{ mm}$$

Velikost povosa cevi na spodnji postaji, pri polni obremenitvi, je 5.41 mm. Ta povos smo tudi upoštevali pri konstrukciji detajlov spodnje postaje. Tako imamo pri vходу vtočnega elementa v rezervoar 15 mm prostora v obe smeri. Na zgornji postaji pa smo pazili, da je debelina pasu tesnila pekrat večja od pričakovanega povosa in sedaj znaša 28 mm.

Kontrola vijakov prirobe M12

Vijake prirobe M12 (slika ??, poz.17) kontroliramo na nateg, strig in površinski pritisk ter na kombinacijo nateg in strig. Obravnavamo prvi obremenitveni primer, pri čemer imamo pretežno mirne obremenitve. Dopustne napetosti in varnostni faktorji vijačnih spojev so podani v tabelah [?].

| | |
|---|-------------------------|
| razdalja med središčem iztoka in prirobičnim spojem | $l=3810\text{mm}$ |
| zvezna obremenitev lastne teže horizontalne cevi | $q_2 = 340\text{N/m}$ |
| zvezna obremenitev lastne teže vode | $q_2 = 330\text{N/m}$ |
| teža iztočnih elementov | $F_1 = 255\text{N}$ |
| število vijakov | $n = 8$ |
| oddaljenost vijakov od središča | $r = 130\text{mm}$ |
| premer vijaka | $d = 12\text{mm}$ |
| računski prerez vijaka | $A_j = 84.3\text{mm}^2$ |
| material vijaka | 8.8 |
| dopustna natezna napetost | $\sigma_{dop} = 255$ |
| dopustna strižna napetost | $\tau_{dop} = 170$ |
| dopustni tlak | $p_{dop} = 335$ |
| maksimalna sila prednapetja | $F_p = 37.1\text{kN}$ |
| debelina prirobe | $t = 15\text{mm}$ |

Najprej izračunamo maksimalni upogibni moment, s katerim so obremenjeni vijaki, ter maksimalno dopustno natezno silo, ki se lahko pojavi v vijaku. Iz maksimalnega momenta nato izračunamo dejansko silo, ki se pojavi v posameznem vijaku.

$$M_{maks} = F_1 \cdot 3.81 + (q_1 + q_2) \cdot \frac{3.81^2}{2} =$$

$$= 255 \cdot 3.81 + (340 + 330) \cdot \frac{3.81^2}{2} = 5834.44\text{Nm}$$

$$F_{n,dop} = 0.7 \cdot F_p = 37.1 \cdot 0.7 = 25.97\text{kN}$$

Pri kontroli sile v vijaku predpostavimo, da celotno obremenitev prenašajo le štirje vijaki, ki se nahajajo v natezni coni, saj so vijaki v tlačni coni razbremenjeni.

$$F_{v1} = \frac{M_{maks} \cdot 2}{n \cdot r} = \frac{5834.44 \cdot 2}{8 \cdot 0.13} = 11.22\text{kN}$$

$$F_{v1} < F_{n,dop}$$

Maksimalna sila, s katero je obremenjen vijak, je nižja od dopustne sile. Z izračunano maksimalno silo sedaj izračunamo še maksimalno natezno napetost, ki se pojavi v posameznem vijaku.

$$\sigma_{v1} = \frac{F_{v1}}{A_j} = \frac{11220}{84.3} = 134\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{v1} < \sigma_{dop}$$

Sedaj bomo izvedli še kontrolo dopustne strižne obremenitve in dopustnega tlaka.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d_v^2 = \frac{\pi}{4^2} \cdot 12 = 113 \text{ mm}^2$$

$$F_s = F_1 + (q_1 + q_2) \cdot l = 255 + (340 + 330) \cdot 3.81 = 2808 \text{ N}$$

$$\tau_s = \frac{F_s}{n \cdot A} = \frac{2808}{8 \cdot 113} = 3.11 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_s < \tau_{dop}$$

$$A_p = d \cdot t = 12 \cdot 15 = 180 \text{ mm}^2$$

$$p = \frac{F_s}{n \cdot A_p} = \frac{2808}{8 \cdot 180} = 1.95 \text{ N/mm}^2$$

$$p < p_{dop}$$

Iz dobljenih rezultatov vidimo, da sta strižna napetost in površinski pritisk mnogo manjša od dopustnih vrednosti. Kontrolo napetosti kombinacije natega in striga izvedemo po enačbi za primerjalno napetost (enačba ??).

$$\sigma_{pr} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{dop} \quad (3.7)$$

$$\sigma_n = \frac{F_{v1}}{A} = \frac{11220}{113} = 99.29 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pr} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_s^2} = \sqrt{99.29^2 + 3 \cdot 3.11^2} = 99.44 \text{ N/mm}^2$$

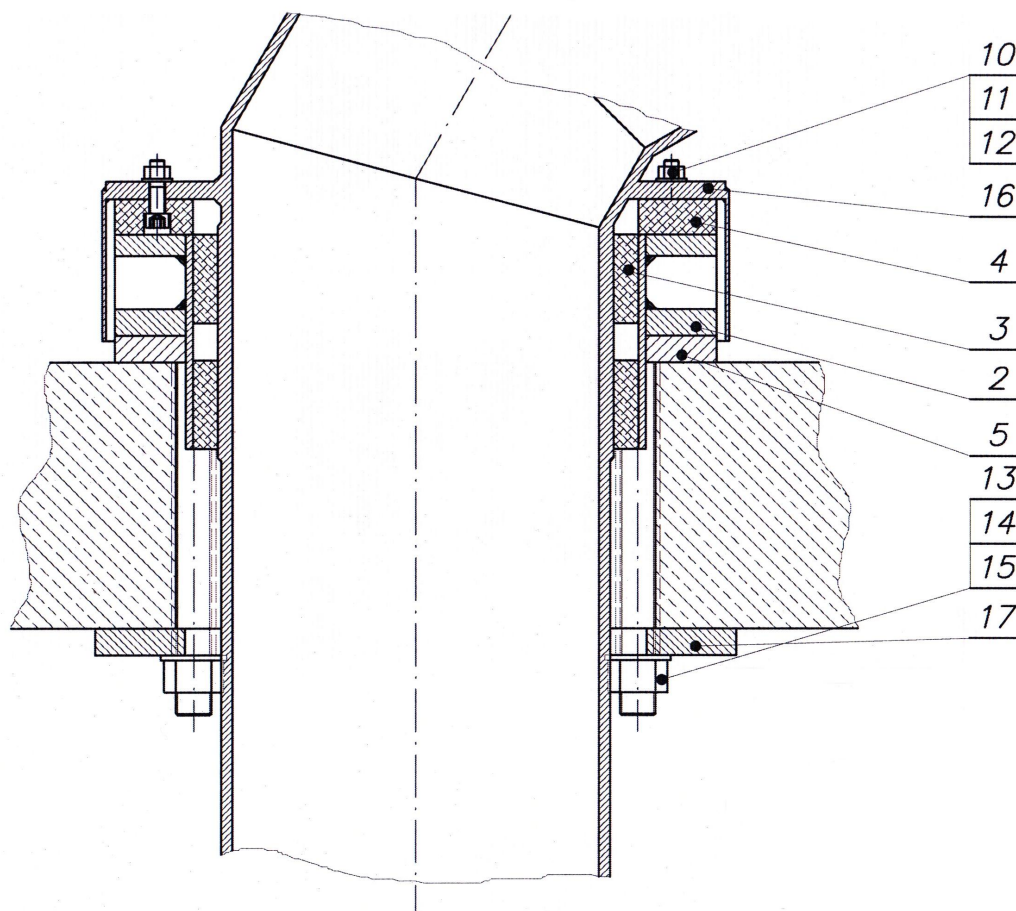
$$\sigma_{pr} < \sigma_{dop}$$

Kontrola površinskega tlaka na drsne elemente radialno - aksialnega ležaja

Kontrolirali bomo površinski tlak v radialno - aksialnem ležaju (slika ??). Ležaj je obremenjen z radialno in aksialno silo, kot je prikazano na mestu A (slika ??). Gradivo, iz katerega so narejeni drsni elementi v radialno-aksialnem ležaju, je polietilen. Drsni obroč, ki prenaša aksialne obremenitve, je sestavljen iz treh segmentov (slika ??, poz.4). Njegova delavniška risba (005.140) je predstavljena v dodatku E. Radialna obremenitev pa se prenaša preko dveh enakih drsni obročev (poz.3, slika ??, risba 005.130, dodatek E).

zunanji premer aksialnega drsnega elementa
 notranji premer aksialnega drsnega elementa
 premer izvrtine v aksialno drsno površino
 število izvrtin
 notranji premer radialnega drsnega elementa
 število radialnih drsnih elementov
 višina radialnih drsnih elementov
 natezna trdnost
 varnost

$D_1 = 336mm$
 $d_1 = 264mm$
 $d_2 = 15mm$
 $n_1 = 9$
 $d_3 = 222mm$
 $n_2 = 2$
 $h = 46mm$
 $\sigma_M = 2.8N/mm^2$
 $\gamma = 5$



Slika 3.13: Radialno - aksialen drsni ležaj

$$p_{dop} = \frac{\sigma_M}{\gamma} = \frac{2.8}{5} = 0.56N/mm^2$$

Pri izračunu aksialnega tlaka smo od celotne površine, preko katere se prenaša aksialna sila, odšteli površino izvrtin.

$$A_a = \frac{\pi}{4} \cdot ((D_1^2 - d_1^2) - n_1 \cdot d_2^2) = \frac{\pi}{4} \cdot ((336^2 - 264^2) - 9 \cdot 15^2) = 32338.77mm^2$$

$$p_a = \frac{A_y}{A_a} = \frac{3512}{32338.77} = 0.11N/mm^2$$

$$p_a < p_{dop}$$

Površinski tlak bomo kontrolirali na notranji strani drsnega obroča (slika ??, poz.3).

$$A_r = n_2 \cdot h \cdot d_3 = 2 \cdot 46 \cdot 222 = 20424mm^2$$

$$p_r = \frac{A_x}{A_r} = \frac{5612}{20424} = 0.27N/mm^2$$

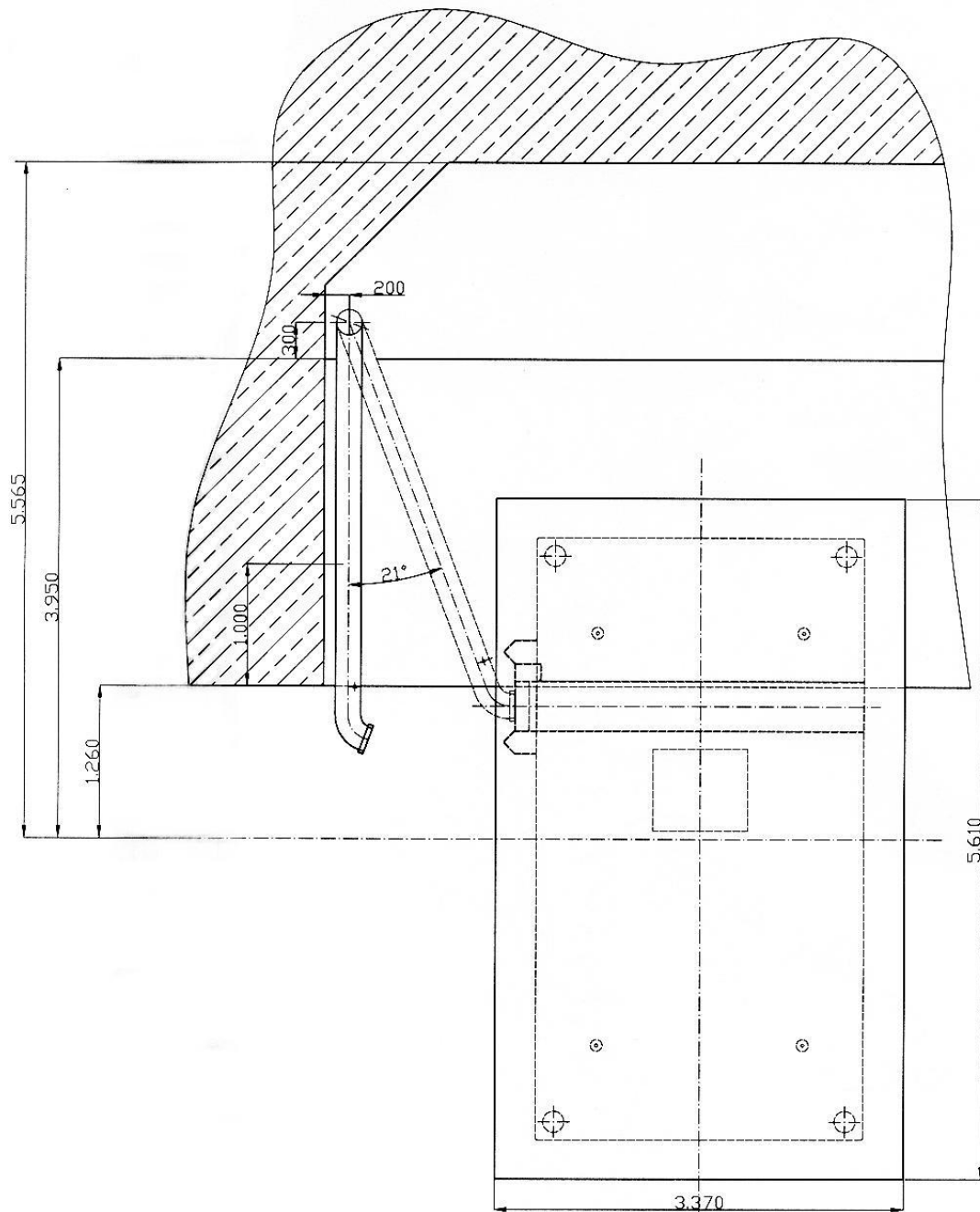
$$p_r < p_{dop}$$

Vidimo, da je površinski tlak tako v aksialni kot tudi radialni smeri manjši od dopustnega. Radialni ležaj (poz.4, slika ??) je obremenjen z enako veliko radialno silo kot radialno-aksialni ležaj, ki smo ga kontrolirali. Ker je tudi drsna površina radialnega ležaja enaka kot pri radialno-aksialnem ležaju, je površinski tlak nižji od dopustnega, zato dodatne kontrole radialnega ležaja ne bomo izvajali.

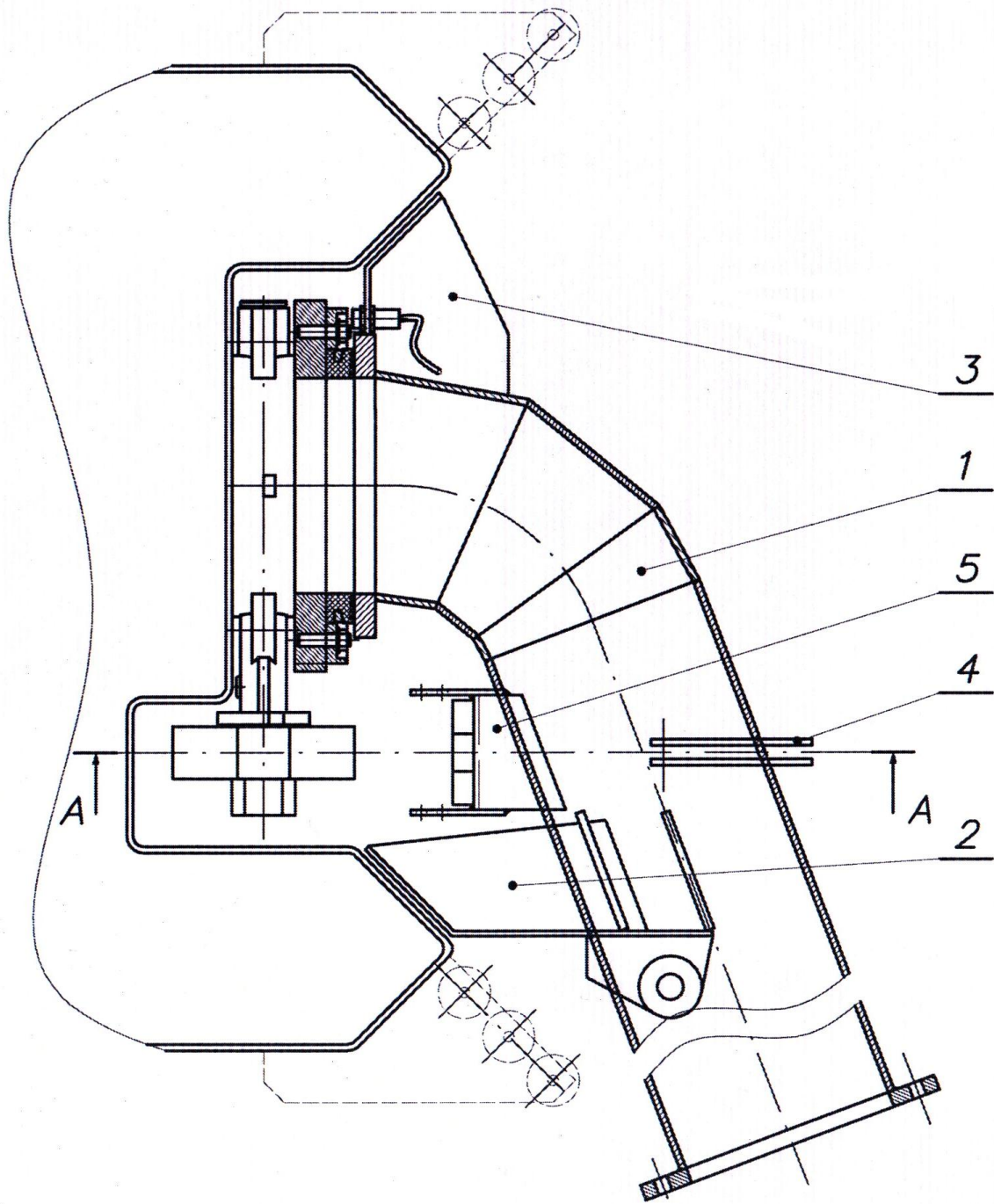
3.4 Zgornja postaja

Pri konstruiranju obeh sistemov za dotok vode na spodnji postaji in za iztok vode na zgornji postaji, smo želeli imeti čim večje število enakih elementov. Kljub vsemu se zaradi različnih funkcij, ki jih sistema opravljata, in zaradi različnega okolja, kamor smo jih morali vgraditi, sistema v detajlih razlikujeta (slika ??). Bistveno se razlikujeta predvsem na mestu stika s poliestrskim rezervoarjem. Na zgornji postaji ima cev okrogel priključek, ki nalega na nazobčeno tesnilo, ki je nameščeno na loputo rezervoarja. Detajl tega priključka je prikazan na sliki ??.

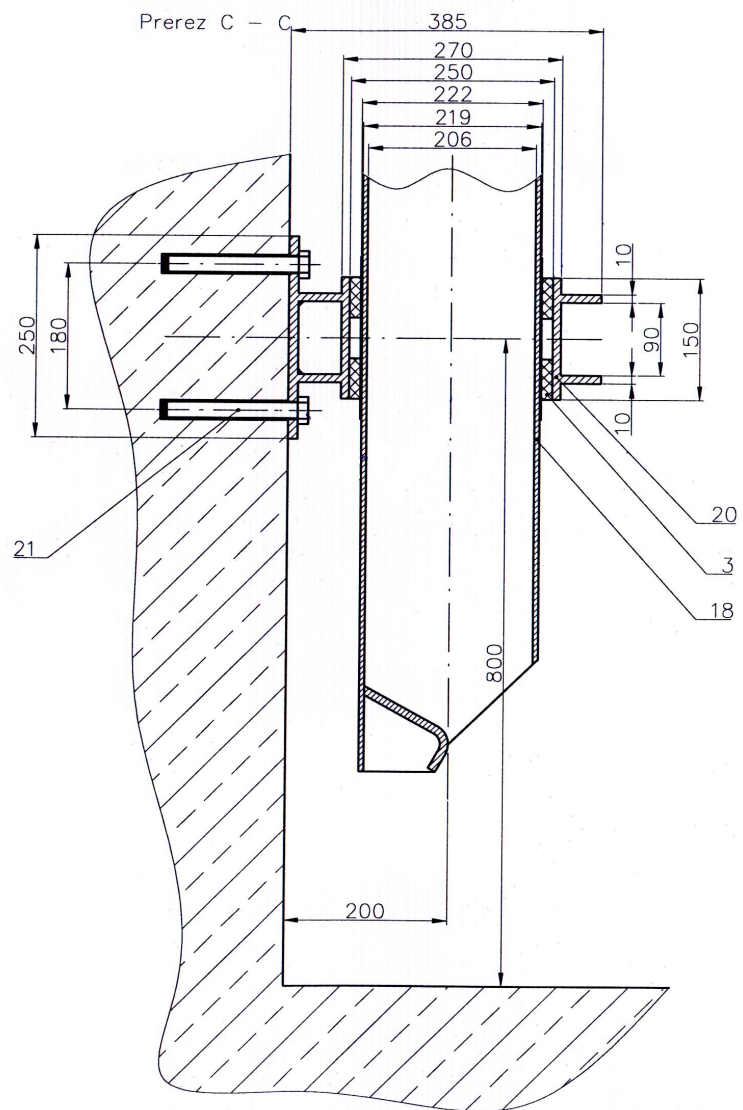
Na tem mestu (slika ??, poz.5) sta nameščena tudi hidravlična valja, ki služita za odpiranje in zapiranje lopute. Horizontalna cev za odtok vode je enakih dimenzij kot na spodnji postaji, le da je 443 mm krajša. Kljub temu, da sta na priključku cevi nameščena hidravlična valja za odpiranje in zapiranje rezervoarja, je upogibni moment na mestu spoja horizontalne cevi z vertikalno manjši kot na spodnji postaji. Ker smo spoj prirobnic in aksialno - radialni ležaj izvedli enako kot na spodnji postaji, kontrole vijakov in površinskih tlakov na tem mestu ne bomo ponavljali. Iztok vode je speljan v betonski rezervoar in je prikazan na sliki ??.



Slika 3.14: Tloris zgornje postaje



Slika 3.15: Prerez priključnih elementov za izpust vode in poliestrskega rezervoarja



Slika 3.16: Izpust vode v betonski rezervoar na zgornji postaji

Poglavje 4

Izdelava in delovanje mehatronskega sistema za transport pitne vode

4.1 Sočasni razvoj

Projekt takšnega obsega je v tako kratkem času mogoče v celoti izpeljati samo z uporabo metode sočasnega razvoja. Pri sočasnem razvoju prihaja do hkratnega izvajanja oziroma prekrivanja posameznih faz razvoja. Sočasni razvoj pristopa celostno in zahteva uravnoteženost med na prvi pogled neodvisnimi področji, kot so informacijska tehnologija, skupinsko delo, različne metode, orodja ipd. [?].

V obravnavanem primeru transporta pitne vode sočasni razvoj najbolje prikažemo z Gantovim časovnim diagramom (tabela 1). Celotni projekt smo razdelili na posamezne manjše zaključene sklope. S tem smo omogočili sočasno razvijanje in proizvodnjo na ločenih lokacijah, obenem pa smo dosegli večjo preglednost in možnost vrednotenja posameznih sklopov iz različnih zornih kotov.

V obravnavanem primeru so ti sklopi:

- poliesterski rezervoar,
- mehatronski sistem za polnjenje rezervoarja na spodnji postaji,
- mehatronski sistem za praznenje rezervoarja na zgornji postaji.

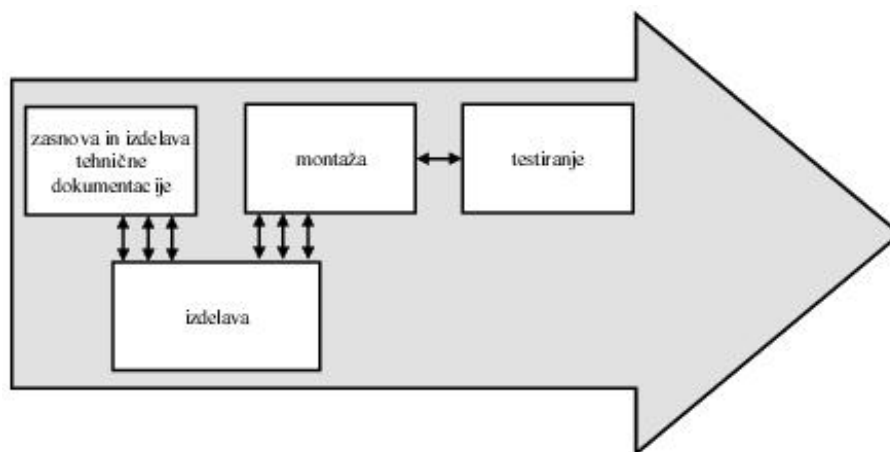
Če razvoj in izdelava celotnega projekta potekata v enem samem podjetju, so meje med posameznimi sklopi lahko manj določene. V našem primeru pa sta razvoj in izdelava tehnične dokumentacije potekala na Fakulteti za strojništvo in v podjetju Dr. DUHOVNIK d.o.o., izdelava posameznih mehanskih elementov mehatronskega sistema pa je potekala v podjetju Filbo d.o.o. in Regeneracija d.o.o. ter v več manjših podjetjih.

Sočasen razvoj pa je mogoč le ob urejeni dokumentaciji in ob dobri informacijski podpori. Danes večina podjetij za komunikacije uporablja medije kot so e-pošta, faks,

telefon in pošta. V večjih podjetjih pa se vedno bolj uveljavlja tudi komunikacija preko avdio-video sistema. Ta možnost je omogočena tudi v laboratoriju LECAD na Fakulteti za strojništvo.

V našem primeru smo za komunikacije uporabljali največ elektronsko pošto in telefon. V manjšem obsegu smo uporabljali tudi faks. Kot nepogrešljiv element komunikacije pa se je izkazala tudi osebna komunikacija na kraju dogajanja samega. Osebna komunikacija ali komunikacija preko telefona je bila večkrat uporabljena tudi za pojasnjevanje dokumentov, poslanih preko elektronske pošte ali faksa.

Z Gantovega časovnega diagrama je razvidno kako se faza zasnove in izdelave tehnične dokumentacije posameznega sklopa vedno prekriva s fazo izdelave sklopa. Do prekrivanja faze izdelave posameznega sklopa in njegove montaže ni prišlo samo pri mehatronskem sistemu za praznenje rezervoarja na spodnji postaji. Vzrok, za to, je bil v snežnih padavinah, tako so se morali zaposleni pri podjetju Žicnice Vogel posvetiti pripravi in vzdrževanju smučarskih prog. Kljub temu, da je bilo potrebno opraviti nekaj "uglaševanj" pri montaži, pa ni v nobenem od treh sklopov prišlo do prekrivanja faze zasnove in izdelave tehnične dokumentacije s fazo montaže (slika ??). Do prekrivanja teh dveh faz bi lahko prišlo v primeru, da posamezen sklop ne bi zadovoljivo izpolnjeval svoje funkcije. V našem primeru se to ni zgodilo, kar potrjuje pravilnost posameznih rešitev. Faza testiranja se je lahko začela takoj po montaži posameznega sklopa, ki predstavlja zaključeno celoto.



Slika 4.1: Časovno prekrivanje posameznih faz od zasnove do montaže posameznega sklopa

Pred obdobjem prekrivanja je potekala izdelava zasnove, ki ji je sledila izdelava preliminarne dokumentacije, ki smo jo nato ovrednotili. Če se so na tej stopnji pojavile določene pomanjkljivosti smo se vrnili v popravljanje zasnove in preliminarne tehnične dokumentacije. To se je večkrat ponovilo v enem ali dveh dneh, saj smo v fazi začetnega snovanja in izdelave tehnične dokumentacije zgoraj omenjene sklope razdelili na še manjše logične sklope, z manj ostrimi mejami. Te manjše logične sklope smo nato sproti pošiljali v tehnološke oddelke kooperantov. Ti so jih pregledali

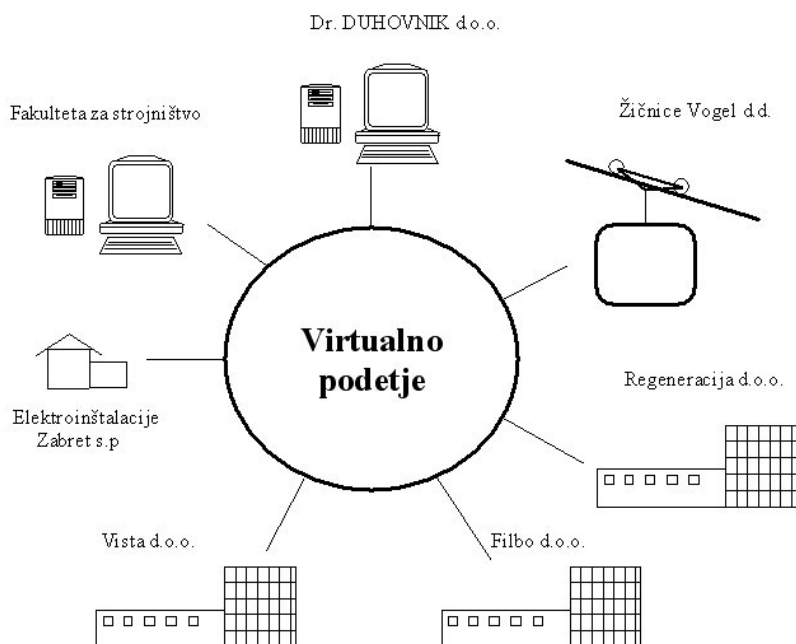
in predlagali tehnološke rešitve. Le - te so pogosto zahtevale manjše spremembe dokumentacije, da bi tako dosegli čim cenejšo konstrukcijo v čim krajšem času, ob razpoložljivih tehnologijah. Izdelane sklope so tedensko dostavljali na smučišče Vogel. Tu so jih sproti montirali in zopet pošiljali povratne informacije o nepredvidenih napakah oz. izboljšavah. Tako se je konstrukcija sproti "zdravila" otroških napak in se celo izboljševala.

Seveda pa kljub dobri informacijski podpori sočasni razvoj ne bi bil mogoč, če bi ne bilo pripravljenosti vseh vključenih na sodelovanje.

4.2 Virtualno podjetje

Tvorbi obstoječih podjetij, ki se med seboj povežejo z namenom skupne izdelave polizdelka ali celotnega izdelka, pravimo virtualno podjetje. Virtualno podjetje lahko obstaja samo za realizacijo enega projekta in potem preneha obstajati, lahko pa se to sodelovanje nadaljuje v nadaljnjih projektih. Prednost takšnih podjetij najbolj pride do izraza ob kompleksnih prototipnih izdelkih, kjer je končni produkt le eden ali pa manjša serija. V takšnem primeru posamezna obstoječa podjetja ponudijo svoja znanja ali proizvodnje zmogljivosti. Tako ni potrebno enemu samemu podjetju vlagati v nova znanja ali tehnologije in je končni produkt cenejši in konkurenčnejši.

Mehatronske sistem za transport vode z žičnico je takšen kompleksen prototipni projekt z enim samim končnim produktom. V skupno virtualno podjetje so se povezala podjetja Dr. DUHOVNIK d.o.o., Regeneracija d.o.o, Filbo d.o.o, Vista d.o.o., Elektroinstalacije Zabret s.p., Žičnice Vogel in Fakulteta za strojništvo (slika??).



Slika 4.2: Posamezne enote, ki so tvorile virtualno podjetje

4.3 Izdelava rezervoarja

Izdelava rezervoarja je potekala v podjetju Regeneracija iz Lesc. Ker je oblika rezervoarja zelo zahtevna za izdelavo, smo se odločili za postopno izgradnjo. Celotno obliko rezervoarja določajo njegove bočne stranice. Da bi dosegli njihovo obliko, smo najprej izdelali pločevinski model bočnih stranic. Zaradi lažje izdelave in transporta smo model razdelili na šest elementov, ki smo jih nato z vijaknimi spoji povezali v celoto. Slika ?? prikazuje vzdolžno stranico, slika ?? pa prečno. Sestavna risba modela (004.100) je predstavljena v prilogi E. Elementi so po robovih ojačani s kvadratnimi profili, da smo dobili ravno ploskev, ki se je pri krivljenju nagubala. Spoji elementov modela so bili pred laminiranjem pokitani in zbrušeni. Tako smo dobili gladko in ravno površino ter zaokrožitve na posameznih robovih. Takšno obdelavo smo morali izvesti, ker bo odtis te površine predstavljal zunanjo stran poliesterskega rezervoarja. Po notranjosti smo nato ročno nanašali plasti poliestra in steklene armature.

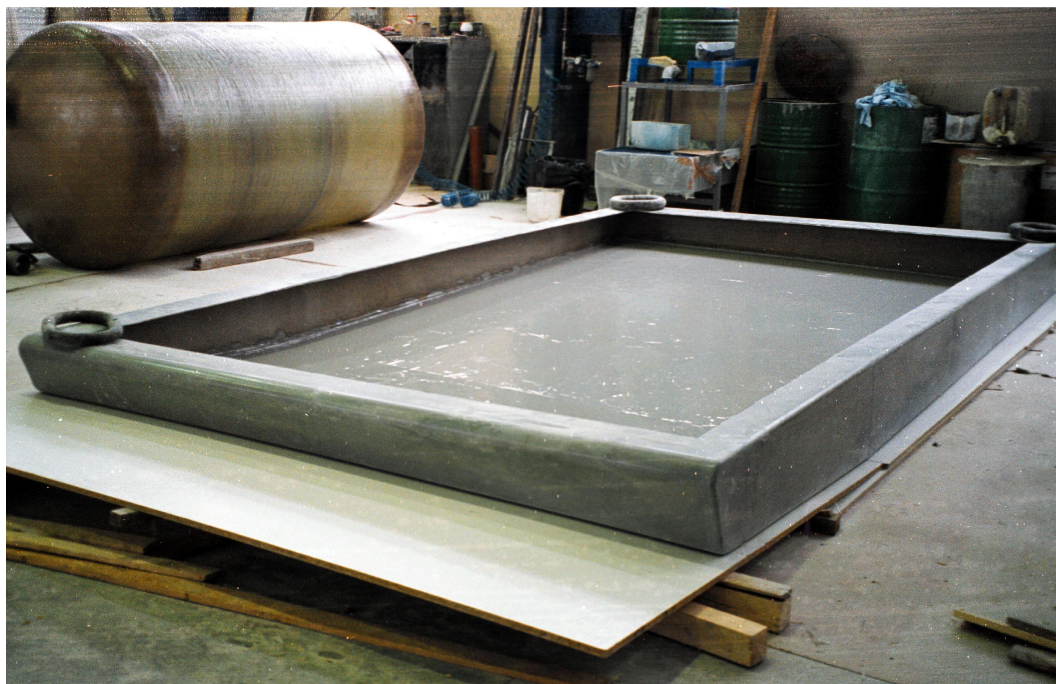


Slika 4.3: Vzdolžna stranica modela



Slika 4.4: Prečna stranica modela

Osnovo dna rezervoarja sta predstavljali dve ravni plošči poliesterskega laminata. Ko se je poliester v modelu dovolj strdil, smo odstranili pločevinski kalup in pričeli z laminacijo poliestrski plošč dna na rezervoar. Tako smo dobili nekakšno posodo, ki je bila na vrhu odprta (slika ??).



Slika 4.5: Pokončne stranice in dno rezervoarja

V tako pripravljeno posodo smo potem začeli vgrajevati ojačitvena rebra in jeklene puše, skozi katere so potekali vijaki, s katerimi smo pritrtili rezervoar na kabino (slika ??). Naloga puš je zagotavljanje oblike luknje ter prenašanje obremenitev iz rezervoarja na pritrtilne vijake. Na zunanji strani so bile na pušo navarjena rebra, ki so preprečevala zasuk (slika ??). Zunanjo površino puš smo peskali, ker tako pripravljena površina omogoča boljši oprijem poliestra s kovino.



Slika 4.6: Jeklena puša



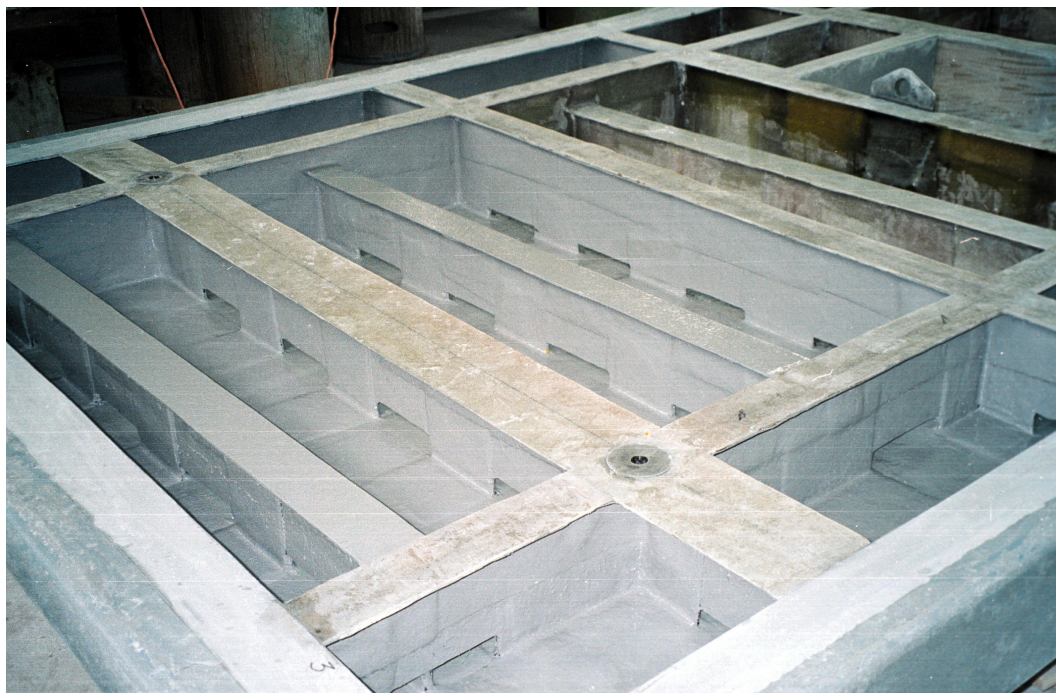
Slika 4.7: Vgradnja ojačitvenih reber in jeklenih puš v rezervoar

Na sliki ?? vidimo, kako so ojačitvena rebra na mestih spoja nekoliko odebeljena. Potrebno je bilo nanesti dodatne plasti laminata, ki morajo imeti dovolj veliko površino, da dobimo zadovoljivo nosilnost spoja. Na sliki se tudi lepo vidi, kako so zalaminirane puše. Med spoji rezervoarja z rebri, smo pustili kratke reže, ki omogočajo pretakanje vode pri polnjenju in praznjenju rezervoarja.

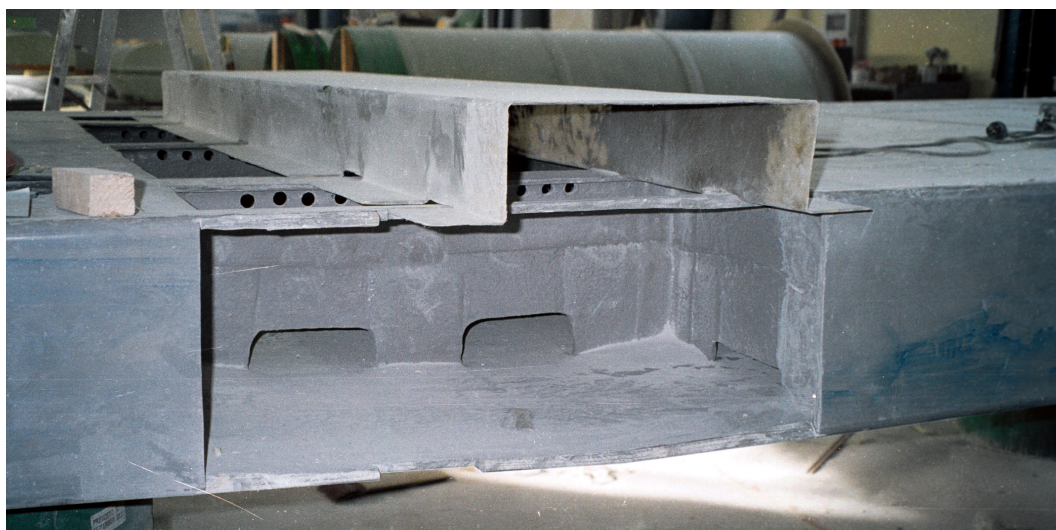
Naslednji korak je bila delna laminacija, ki je potekala prečno na zgornji rob reber. Ta laminat sega na vsako stran 100 mm, pri čemer smo dobili obliko I - nosilcev. Na sliki ?? opazimo, da nekatera rebra po višini sežejo do stropa rezervoarja. Da bi pri polnjenju in praznjenju vode omogočili tudi pretok zraka, smo tik pod vrhom tistih reber, ki sežejo do stropa, izvrtali luknje s premerom 20 mm. V vseh štirih vogalih rezervoarja je na stropu vlaminiran oddušnik zraka. Potem, ko smo notranjost rezervoarja zaščitili z zaščitnim premazom, smo odprtine v stropu rezervoarja zalaminirali.

Sedaj je bilo potrebno na najnižji točki rezervoarja izdelati še nastavek za polnjenje in praznjenje rezervoarja. Za ta nastavek smo zopet iz pločevine naredili model, v katerega smo nato nanašali laminat. Na mestu dotoka imamo na stropu, po celotni širini rezervoarja, pravokotno izboklino (slika ??). S strani je narejena pravokotna odprtina, ki se pričinja nad stropom rezervoarja, tako da je gladina vode pod spodnjim robom odprtine. Skozi to odprtino je omogočeno polnjenje rezervoarja.

Pozicioniranje rezervoarja na zgornji in spodnji postaji je izvedena s trikotno oblikovanima vodiloma (slika ??).



Slika 4.8: Postavitev ojačitvenih reber in jeklenih puš v rezervoarju

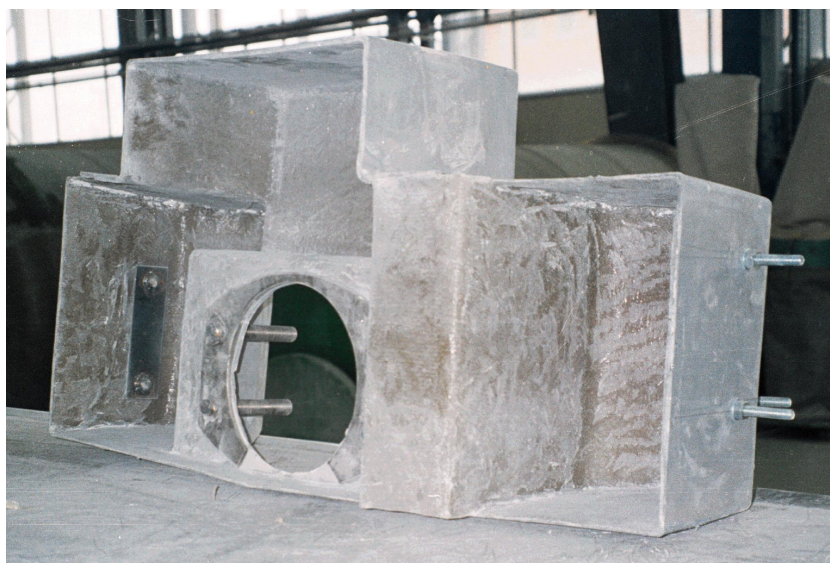


Slika 4.9: Pravokotna izbočitev na stropu rezervoarja za dotok vode

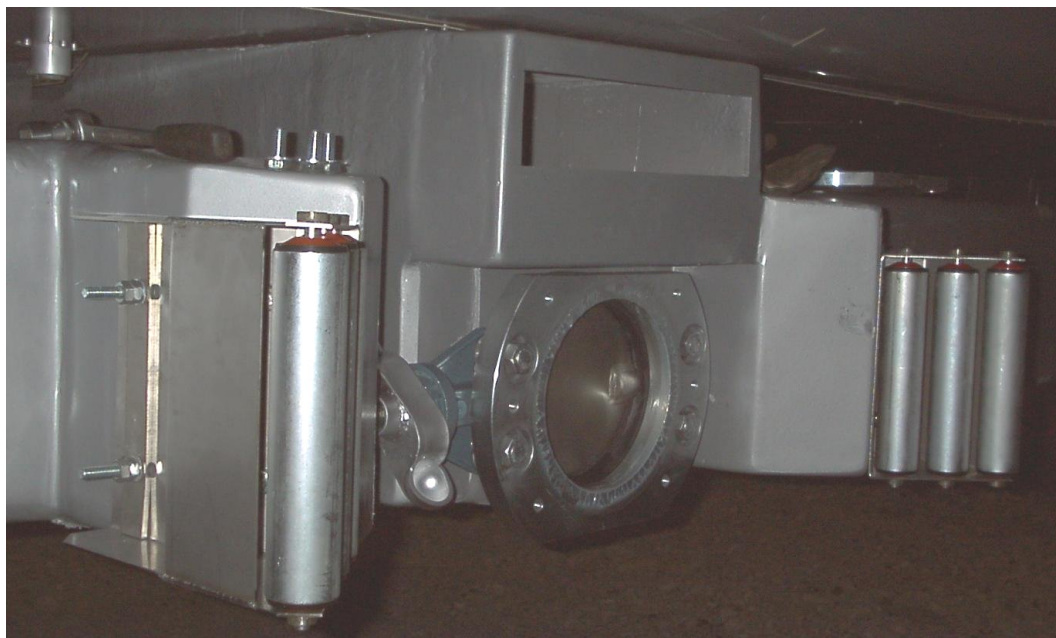
Po dva takšna vodila sta bila narejena tudi na priključnih ceveh sistemov za polnjenje in praznjenje. Takšno pozicioniranje je bilo potrebno izvesti zato, ker se kabina ne ustavi vedno na istem mestu. Središče kabine je pri posameznem ustavljanju lahko zamaknjeno tudi do 250 mm, kar je odvisno od položaja potnikov v kabini. Z notranje strani nastavka za polnjenje in praznjenje rezervoarja smo vlaminali pločevino, na katero so bili privarjeni vijaki M12 in M20 (slika ??). Vijaki M12 so nameščeni na trikotna vodila in so namenjeni namestitvi dodatnih vodil z rotirajočimi valjčki, ki najprej pridejo v stik s cevjo za polnjenje ali praznjenje (slika ??). Vijaki M20 so namenjeni namestitvi lopute in obročev za pritrditev tesnila.

Na sliki ?? vidimo tudi odpiralni mehanizem, ki je namenjen odpiranju in zapiranju lopute rezervoarja. Mehanizem je oblikovan tako, da se končnik, ki je privijačen na hidravlični valj, zapelje v skodelico in odpre loputo, po določenem času pa se aktivira drug hidravlični valj, ki zapre loputo. Skodelici in končnika sta bila po obdelavi trdo kromirana. Celotni rezervoar je prikazan na sliki ?? . Ko so bila poliesterska dela na rezervoarju končana, je bilo potrebno celoten izdelek še pariti. Postopek traja 6 ur, pri čemer ima para temperaturo okoli 120° stopinj. V tem postopku dobi poliesterki laminat svoje končne mehanske lastnosti, hkrati pa se iz njega izloči stiren, ki je zdravju škodljiv. Končna masa poliesterskega rezervoarja je 720 kg.

Da bi dosegli zahtevane čase praznenja, smo z notranje strani rezervoarja namestili sesalni koš (slika ??). Namen sesalnega koša je, da preprečuje vstop zraka v cev med praznjenjem. Iztočna cev na zgornji postaji ima na koncu iztopni prerez nekoliko manjši, kot je prečni prerez cevi. To ustvari neprekinjen vodni stolpec, ki povzroča na iztopu vode v betonski rezervoar tlak, ki je enak višinski razliki med odprtino v rezervoarju in iztopom vode iz cevi. Ko pričnejo v cev dotekati zračni mehurčki, hitrost iztekanja močno upade. Pozorni opazovalec lahko ta pojav zazna v spremembi zvoka iztekanja. Le - to postane hrupnejše, vendar še vedno ne moteče za potnike.



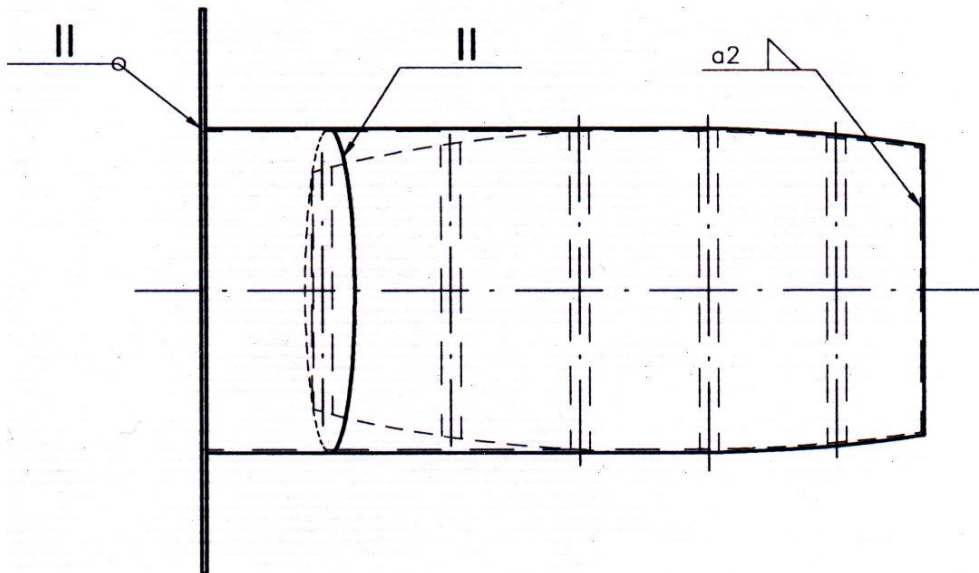
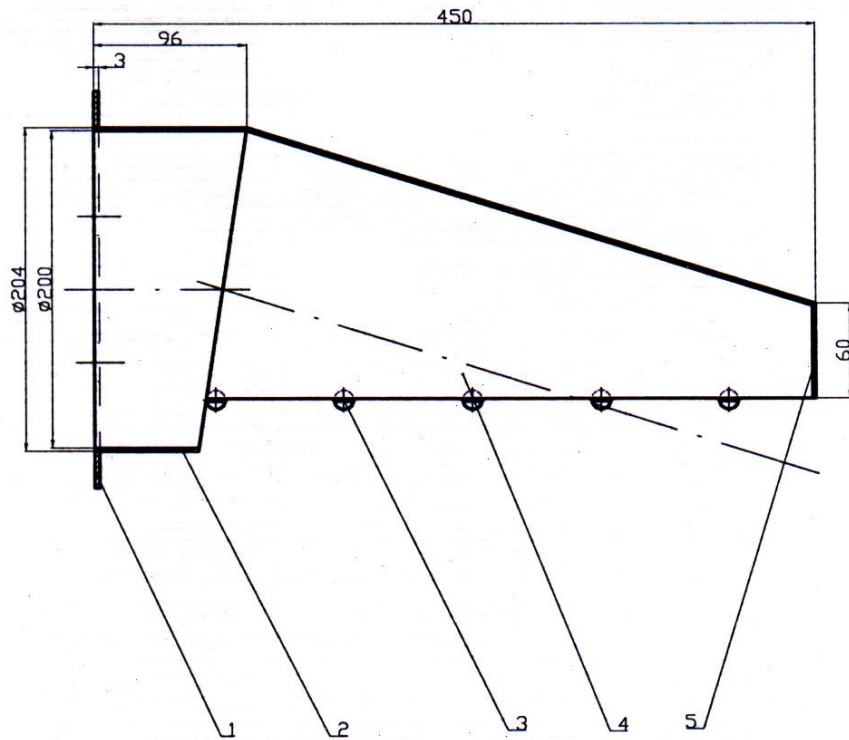
Slika 4.10: Laminacija vijakov za namestitve vodil in lopute



Slika 4.11: Loputa in mehanizem za odpiranje lopute



Slika 4.12: Končna oblika poliesterskega rezervoarja



Slika 4.13: Sesalni koš

4.4 Elementi za polnjenje rezervoarja na spodnji postaji

Elemente za polnjenje rezervoarja na spodnji postaji so izdelali v podjetju Filbo d.o.o. iz Bohinjske Bistrice. Celotna masa mehanskih elementov spodnje postaje je 396 kg. Večina elementov je bila izdelana iz navadnega konstrukcijskega jekla St 37, ki smo ga po obdelavi pocinkali.

Umestitev sistema za dotok vode v obstoječo infrastrukturo spodnje postaje je predstavljena na sliki ???. Vertikalna cev premera $\phi 219$ mm je napeljana iz betonskega jaška in se preko kolena nadaljuje pod majhnim naklonom v vodoravni smeri (slika ???). Na tem mestu je nameščen tudi radialno-aksialen ležaj, ki omogoča rotacijo sistema v horizontalni ravnini.



Slika 4.14: Sistem za dotok vode v poliestrski rezervoar na spodnji postaji

Hidravlična valja, s katerima premikamo cev za polnjenje rezervoarja, sta pritrjena na pomol s sistemom plošč. Sistem plošč je izdelan tako, da omogoča horizontalno in vertikalno premikanje vpetišča hidravličnih valjev (slika ???). Gibanje vpetišča nam omogoča lažjo in enostavnejšo montažo, hkrati pa tudi majhen nagib hidravličnih valjev, ki tako prenašajo del obremenitve.

Celotna cev je pomaknjena pod konzolne nosilce pregibnih platform. Tako je sistem pomaknjen izven linije poti kabine. Na iztoku vode iz sistema za polnjenje preidemo iz okroglega prereza cevi v pravokoten prerez (slika ???). Na sliki tudi vidimo nastavek za pozicioniranje sistema za dotok vode in rezervoarja. Na tem nastavku je nameščeno tudi induktivno tipalo, ki ima nalogo zaustaviti gibanje sistema proti rezervoarju, ko je v položaju za polnjenje.



Slika 4.15: Prehod cevi premera $\phi 219$ mm iz vertikalne v horizontalno lego



Slika 4.16: Sistem prečnih plošč za vpetje hidravličnih valjev na pomol spodnje postaje



Slika 4.17: Elementi za pozicioniranje in dotok vode na spodnji postaji

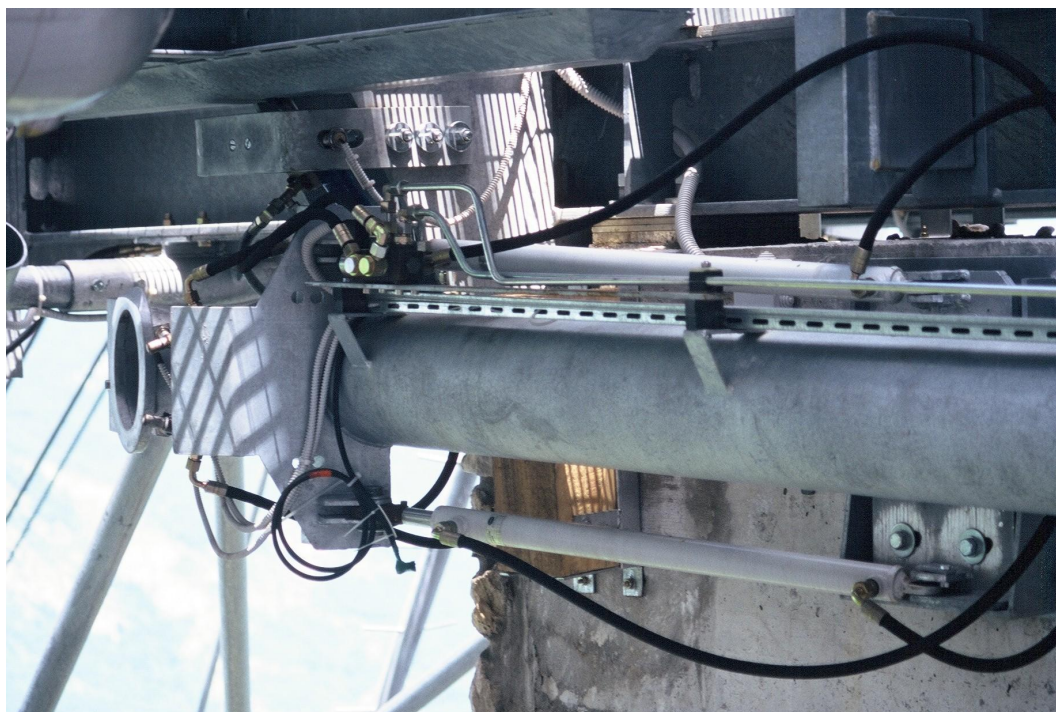
4.5 Elementi za praznenje rezervoarja na zgornji postaji

Elemente za praznenje rezervoarja na zgornji postaji so prav tako izdelali v podjetju Filbo d.o.o iz Bohinjske Bistrice. Večina elementov sistema za praznenje poliesterskega rezervoarja je narejena iz navadnega konstrukcijskega jekla St 37, ki je bil po obdelavi pocinkan. Masa mehanskih elementov zgornje postaje znaša 320.5 kg.

Celoten sistem je prikazan na sliki ???. Na mestu priključka sistema za iztok vode iz poliesterskega rezervoarja, vidimo končnika, ki sta privijačena na batnico manjših hidravličnih valjev. Ta dva hidravlična valja služita za odpiranje in zapiranje lopute, ki je nameščena na rezervoarju (slika ???). Od priključnih elementov se cev premera $\phi 219$ mm pod majhnim naklonom glede na vodoravno os, nadaljuje proti kolenu, od koder se skozi betonsko ploščo nadaljuje še 3400 mm navpično v rezervoar. Na pomolu zgornje postaje imamo prav tako montiran sistem premičnih plošč, ki omogoča pomično vpetje hidravličnih valjev za primikanje in odmikanje cevi od poliesterskega rezervoarja.



Slika 4.18: Sistem za iztok vode iz poliesterskega rezervoarja na zgornji postaji



Slika 4.19: Priključni elementi za iztok vode iz poliestrskega rezervoarja na zgornji postaji

4.6 Delovanje mehatronskega sistema za transport pitne vode

V letošnjem letu so s transportom pitne vode pričeli 8. februarja in končali 1. marca. Pri tem so skupno prevozili 666 m^3 pitne vode. Voda se je iz poliestrskega rezervoarja pretakala v manjši betonski rezervoar, od tam pa se je prečrpavala v večji betonski rezervoar (800 m^3), ki je v lasti hotela Vogel. Vodo so vozili v odvisnosti od potreb hotela po pitni vodi. Tako lahko iz tabele ?? opazimo, da so dnevno največ pitne vode prepeljali ravno v času, ko so bile šolske zimske počitnice.

Tabela 4.1: Količina prepeljane vode

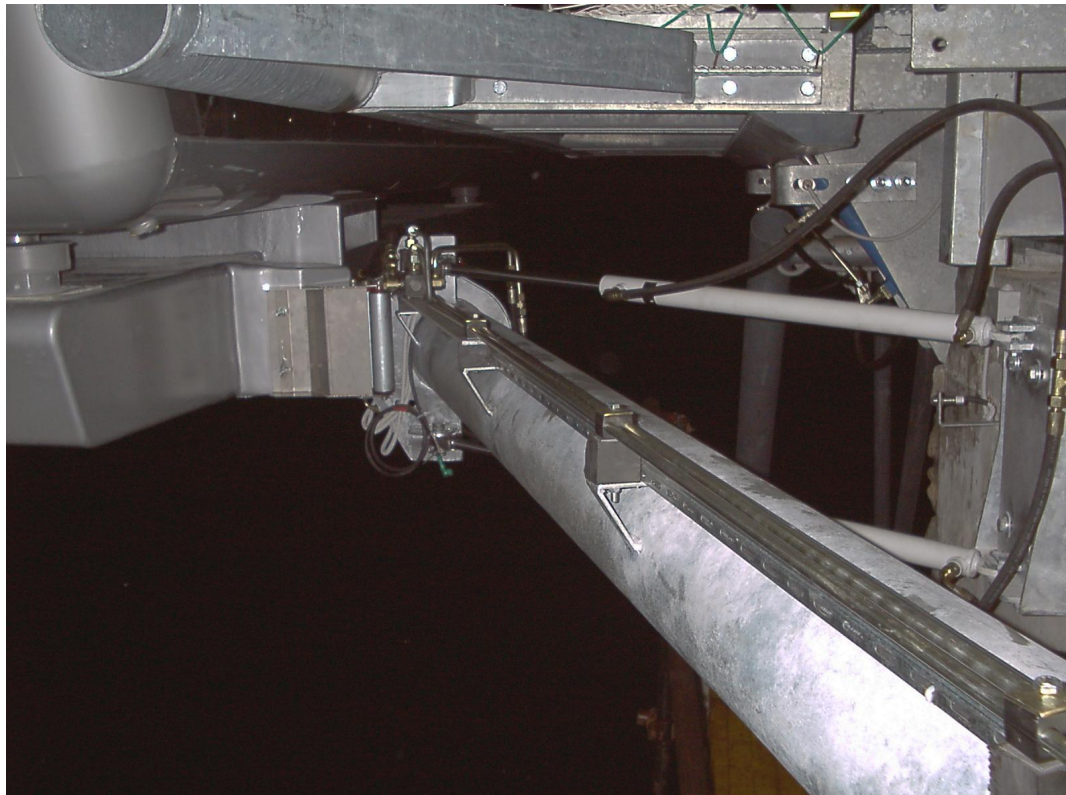
| datum | količina prepeljane vode [m^3] |
|------------|---|
| 08.02.2002 | 12 |
| 10.02.2002 | 12 |
| 12.02.2002 | 21 |
| 13.02.2002 | 21 |
| 14.02.2002 | 36 |
| 15.02.2002 | 45 |
| 16.02.2002 | 51 |
| 17.02.2002 | 54 |
| 18.02.2002 | 45 |
| 19.2.2002 | 15 |
| 21.2.2002 | 30 |
| 22.02.2002 | 45 |
| 23.02.2002 | 42 |
| 24.02.2002 | 36 |
| 25.02.2002 | 66 |
| 26.2.2002 | 69 |
| 27.02.2002 | 15 |
| 28.02.2002 | 33 |
| 01.03.2002 | 18 |
| skupaj | 666 |

Transport se je vršil v dnevnem času, medtem ko so se smučarji vračali s smučišča. Upravljalci žičnice so povedali, da je obratovanje sistema za transport vode potekalo brezhibno, le na začetku je bila manjša težava z odpiranjem lopute poliestrskega rezervoarja, ki pa so jo kmalu odpravili.

Na sliki ?? vidimo prvo preizkušanje rezervoarja. Montaža in preizkušanje je potekalo v večernih urah, tako da nismo motili transporta ljudi. Prvi preizkus nosilnosti rezervoarja smo naredili na spodnji postaji, kjer smo rezervoar napolnili z vodo, nato kabino zapeljali nekoliko iz postaje in ročno odprli loputo rezervoarja. Slika ?? prikazuje preizkušanje zgornje postaje, kjer je sistem za praznenje rezervoarja v stiku z rezervoarjem.



Slika 4.20: Preizkušanje rezervoarja



Slika 4.21: Preizkušanje sistema za praznenje rezervoarja na zgornji postaji

Poglavje 5

Zaključek

V diplomski nalogi je prikazana izdelava mehatronskega sistema za transport vode od zasnove in dimenzioniranja, do izdelave ter obratovanja. Mehatronski sistem za transport vode z žičnico Vogel smo umestili v že izgrajen in delujoč sistem za transport ljudi. Da bi bila dodatna funkcija transporta vode kar najmanj moteča za osnovno funkcijo žičnice, smo najprej skrbno analizirali proces transporta ljudi in nato sestavili seznam zahtev, ki jih mora sistem transporta vode izpolnjevati.

Ko smo določili vse pogoje, ki jih mora sistem za transport vode izpolnjevati, smo pričeli iskati ustrezne rešitve s pomočjo morfološke matrike. Tako smo izdelali štiri različne koncepte, ki smo jih nato vrednotili po AHP metodi. Pri metodi smo za izbiro upoštevali sedem različnih kriterijev, ki pa niso bili enako pomembni. Po ocenjevanju se je kot najboljši izkazal drugi koncept, ki predvideva namestitev rezervoarja pod kabino, polnjenje rezervoarja pa poteka od strani. Izbrani koncept smo v nadaljevanju razdelali v detajle, naredili tehnično in delavniško dokumentacijo in ga tudi izdelali.

V procesu konstruiranja smo največ pozornosti posvetili poliestrskemu rezervoarju. V začetni fazi optimiranja oblike glede na dopustne deformacije, dopustne napetosti in lastno težo smo izdelali več različnih modelov. Podatke o mehanskih lastnostih uporabljenega materiala smo dobili od naročnika, ki jih je ocenil na podlagi prejšnjih laboratorijskih testov podobnih materialov, od proizvajalcev in iz literature [?]. Dimenzionirali smo tudi elemente sistemov za polnjenje in praznjenje poliestrskega rezervoarja, pri čemer se je izkazalo, da so obremenitve spodnje postaje nekoliko večje, zaradi daljše horizontalne cevi.

Enako zahtevna kot konstrukcija rezervoarja, se je izkazala tudi njegova izdelava. V nalogi so predstavljene posamezne faze izdelave in kakor tudi rešitve posameznih problemov. Najbolj zahteven del je bila izdelava oblike rezervoarja z nagibi dna in bočnih stranic. To smo rešili z razstavljivimi kalupi, ki so dali rezervoarju zunanjo obliko. Predstavljen je tudi potek laminiranja ojačitvenih reber, jeklenih puš za motažo rezervoarja in nastavek za pozicioniranje. Izdelavi posameznih sklopov sistema je sledila še montaža na kabinsko žičnico Vogel.

Na koncu naloge so predstavljeni tudi rezultati obratovanja sistema za transport vode. Količina vode, ki jo vsako leto prepeljejo, je odvisna od letnih potreb. V

letošnjem letu so tako prepeljali 666 m^3 vode. Celoten prevoz so opravili v dnevnem času, vzporedno s prevozom ljudi. Čas praznenja rezervoarja je 180 s in je krajši od časa polnjenja, oba procesa pa sta krajša od časa vstopanja in izstopanja ljudi.

Po besedah upravljalcev kabinske žičnice, je v svojem prvem letu delovanja, mehatronski sistem za transport vode deloval brez težav in je izpolnil vse zahteve, ki so bile podane pri naročilu sistema.

Literatura

- [1] Janez Benedičič. *Trosenje hlevskega gnoja pod posebnimi pogoji, diplomsko delo*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2002.
- [2] John L. Clarke. *Structural Design of Polymer Composites Eurocomp Design Code and Handbook*. E and FN Spoon, 1996.
- [3] Karl Heinz Decker. *Elementi strojeva*. Tehnička knjiga Zagreb, 1980.
- [4] Vladimir Hubka W. Ernst Eder. *Theory of Technical Systems*. Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 1988.
- [5] Gunther Erhard. *Konstruieren mit Kunststoffen*. Tehnička knjiga Zagreb, 1980.
- [6] Janez Kramar. *Dopustne napetosti in varnostni faktorji vijlačnih spojev, predavanja*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Strojništvo, 2001.
- [7] Danijel Lisičič. *Projektiranje gradbenih konstrukcij iz polimernih kompozitov, diplomsko delo*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2002.
- [8] Ivan Prebil. *Tehnična dokumentacija*. Tehniška založba Slovenije, 1995.
- [9] Thomas L. Saaty. *Multicriteria Decision Making - The Analytic Hierarchy Process*. University of Pittsburgh, 1988.
- [10] Jože Duhovnik Jože Tavčar. *Elektronsko poslovanje in tehnični informacijski sistemi*. LECAD, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2000.
- [11] Breda Mejak Vrišer. *Osnove strojnih elementov*. Tehniška založba Slovenije, 1984.
- [12] Roman Žavbi. *Razvoj izdelka s povezavo funkcije in delovnih principov, doktorsko delo*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 1998.
- [13] Slovenske Železarne. *Primerjalne tabele in analizni predpisi*. Slovenske Železarne, 2000.
- [14] Agencija RS za okolje. *Temperature na lokaciji vogel*. *Meteorološki arhiv*, 2001.
- [15] Urad za prometno politiko in mednarodne odnose. *Žičnice v sloveniji*. *Ministrstvo za promet*, page <http://www.sigov.si/mpz/4pod/1/7pm.html>, 1999.

IZJAVA

Diplomsko nalogo sem samostojno izdelal pod vodstvom mentorja prof. dr. Jožeta Duhovnika.

Janez Rihtaršič

Ljubljana, dne 28.8.2002

Dodatek A

A.1 Rezultat ocenjevanja konceptov

Predstavitev odločitvenega problema : kabina

Struktura kriterijev :

kabina
teza
cas
material
montaza
izvedba
izgled
cena

Resitve, ki jih primerjamo :

1
2
3
4

Matrika primerjav glede na : kabina

| | I | teza | cas | materia | montaza | izvedba | izgled | cena |
|------|---|------|-----|---------|---------|---------|--------|------|
| teza | I | 1 | 1/4 | 1/3 | 3 | 5 | 3 | 5 |
| cas | I | 4 | 1 | 1/2 | 5 | 7 | 7 | 5 |

| | | | | | | | | |
|---------|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|---|
| materia | I | 3 | 2 | 1 | 5 | 6 | 6 | 3 |
| montaza | I | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| izvedba | I | 1/5 | 1/7 | 1/6 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1 |
| izgled | I | 1/3 | 1/7 | 1/6 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| cena | I | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/2 | 1 | 1/3 | 1 |

Izpis analize vozlišca : kabina

Pomembnost podkriterijev kriterija : kabina

teza : 0.1499 - *****
cas : 0.3100 - *****
material : 0.3274 - *****
montaza : 0.0664 - ****
izvedba : 0.0333 - **
izgled : 0.0686 - ****
cena : 0.0444 - ***

Ocene resitev glede na : kabina

1 : 0.1682 - *****
2 : 0.3322 - *****
3 : 0.2853 - *****
4 : 0.2142 - *****

Analiza usklajenosti matrike kriterija : kabina

Lastni vektor : 0.1499 0.3100 0.3274 0.0664 0.0333 0.0686 0.0444

Lastna vrednost.....1 = 7.5459

Usklajenostni indeks.....CI = 0.0910

Usklajenostno razmerje.....CR = 0.0689

Najvecjo neuskklajenost povzroca primerjava :

(material,cena) = 3.0000

Vrednost tega elementa glede na ostale vrednosti bi morala biti : 7.3819

Odstopanje od prave vrednosti = 4.3819

Matrika primerjav glede na : teza

| | I | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|-----|-----|---|-----|
| 1 | I | 1 | 1/3 | 3 | 1/5 |
| 2 | I | 3 | 1 | 5 | 1/3 |
| 3 | I | 1/3 | 1/5 | 1 | 1/7 |
| 4 | I | 5 | 3 | 7 | 1 |

Izpis analize vozlišca : teza

Ocene resitev glede na : teza

1 : 0.1175 - *****
2 : 0.2622 - *****
3 : 0.0553 - ***
4 : 0.5650 - *****

Analiza usklajenosti matrike kriterija : teza

Lastni vektor : 0.1175 0.2622 0.0553 0.5650

Lastna vrednost.....1 = 4.1170

Usklajenostni indeks.....CI = 0.0390

Usklajenostno razmerje.....CR = 0.0433

Najvecjo neuskklajenost povzroca primerjava :

(4,3) = 7.0000

Vrednost tega elementa glede na ostale vrednosti bi morala biti : 10.2193

Odstopanje od prave vrednosti = 3.2193

Matrika primerjav glede na : cas

| | I | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|-----|-----|---|
| 1 | I | 1 | 1/5 | 1/3 | 1 |
| 2 | I | 5 | 1 | 3 | 5 |
| 3 | I | 3 | 1/3 | 1 | 3 |

4 I 1 1/5 1/3 1

Izpis analize vozlišca : cas

Ocene resitev glede na : cas

1 : 0.0955 - *****
2 : 0.5596 - *****
3 : 0.2495 - *****
4 : 0.0955 - *****

Analiza usklajenosti matrike kriterija : cas

Lastni vektor : 0.0955 0.5596 0.2495 0.0955

Lastna vrednost.....1 = 4.0435

Usklajenostni indeks.....CI = 0.0145

Usklajenostno razmerje.....CR = 0.0161

Najvecjo neusklajenost povzroca primerjava :
(2,1) = 5.0000

Vrednost tega elementa glede na ostale vrednosti bi morala biti : 5.8608

Odstopanje od prave vrednosti = 0.8608

Matrika primerjav glede na : material

| | I | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|-----|-----|-----|---|
| 1 | I | 1 | 1 | 1/3 | 2 |
| 2 | I | 1 | 1 | 1/3 | 2 |
| 3 | I | 3 | 3 | 1 | 3 |
| 4 | I | 1/2 | 1/2 | 1/3 | 1 |

Izpis analize vozlišca : material

Ocene resitev glede na : material

1 : 0.1939 - *****
 2 : 0.1939 - *****
 3 : 0.4949 - *****
 4 : 0.1173 - *****

Analiza usklajenosti matrike kriterija : material

Lastni vektor : 0.1939 0.1939 0.4949 0.1173

Lastna vrednost.....1 = 4.0606

Usklajenostni indeks.....CI = 0.0202

Usklajenostno razmerje.....CR = 0.0225

Najvecjo neuskklajenost povzroca primerjava :
 (3,4) = 3.0000

Vrednost tega elementa glede na ostale vrednosti bi morala biti : 4.2204
 Odstopanje od prave vrednosti = 1.2204

Matrika primerjav glede na : montaza

| | I | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|-----|-----|-----|
| 1 | I | 1 | 1/3 | 1/2 | 1/5 |
| 2 | I | 3 | 1 | 2 | 1/2 |
| 3 | I | 2 | 1/2 | 1 | 1/3 |
| 4 | I | 5 | 2 | 3 | 1 |

Izpis analize vozlisca : montaza

Ocene resitev glede na : montaza

1 : 0.0882 - *****
 2 : 0.2720 - *****
 3 : 0.1570 - *****
 4 : 0.4829 - *****

Analiza usklajenosti matrike kriterija : montaza

Lastni vektor : 0.0882 0.2720 0.1570 0.4829

Lastna vrednost.....1 = 4.0145

Usklajenostni indeks.....CI = 0.0048

Usklajenostno razmerje.....CR = 0.0054

Najvecjo neusklajenost povzroca primerjava :

(4,1) = 5.0000

Vrednost tega elementa glede na ostale vrednosti bi morala biti : 5.4783

Odstopanje od prave vrednosti = 0.4783

Matrika primerjav glede na : izvedba

| | I | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|-----|---|---|-----|
| 1 | I | 1 | 5 | 5 | 3 |
| 2 | I | 1/5 | 1 | 1 | 1/3 |
| 3 | I | 1/5 | 1 | 1 | 1/3 |
| 4 | I | 1/3 | 3 | 3 | 1 |

Izpis analize vozlišca : izvedba

Ocene resitev glede na : izvedba

- 1 : 0.5596 - *****
- 2 : 0.0955 - *****
- 3 : 0.0955 - *****
- 4 : 0.2495 - *****

Analiza usklajenosti matrike kriterija : izvedba

Lastni vektor : 0.5596 0.0955 0.0955 0.2495

Lastna vrednost.....1 = 4.0435

Usklajenostni indeks.....CI = 0.0145

Usklajenostno razmerje.....CR = 0.0161

Najvecjo neusklajenost povzroca primerjava :

(1,2) = 5.0000

Vrednost tega elementa glede na ostale vrednosti bi morala biti : 5.8608

Odstopanje od prave vrednosti = 0.8608

Matrika primerjav glede na : izgled

| | I | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|-----|-----|-----|
| 1 | I | 1 | 1/5 | 1/4 | 1/3 |
| 2 | I | 5 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | I | 4 | 1/2 | 1 | 2 |
| 4 | I | 3 | 1/3 | 1/2 | 1 |

Izpis analize vozlišca : izgled

Ocene resitev glede na : izgled

1 : 0.0729 - ****

2 : 0.4728 - *****

3 : 0.2844 - *****

4 : 0.1699 - *****

Analiza usklajenosti matrike kriterija : izgled

Lastni vektor : 0.0729 0.4728 0.2844 0.1699

Lastna vrednost.....1 = 4.0511

Usklajenostni indeks.....CI = 0.0170

Usklajenostno razmerje.....CR = 0.0189

Najvecjo neusklajenost povzroca primerjava :

(2,1) = 5.0000

Vrednost tega elementa glede na ostale vrednosti bi morala biti : 6.4885

Odstopanje od prave vrednosti = 1.4885

Matrika primerjav glede na : cena

| | I | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|-----|---|-----|-----|
| 1 | I | 1 | 7 | 6 | 5 |
| 2 | I | 1/7 | 1 | 1/3 | 1/5 |
| 3 | I | 1/6 | 3 | 1 | 1/3 |
| 4 | I | 1/5 | 5 | 3 | 1 |

Izpis analize vozlišca : cena

Ocene resitev glede na : cena

1 : 0.6318 - *****
2 : 0.0517 - ***
3 : 0.1025 - *****
4 : 0.2140 - *****

Analiza usklajenosti matrike kriterija : cena

Lastni vektor : 0.6318 0.0517 0.1025 0.2140

Lastna vrednost.....1 = 4.2365

Usklajenostni indeks.....CI = 0.0788

Usklajenostno razmerje.....CR = 0.0876

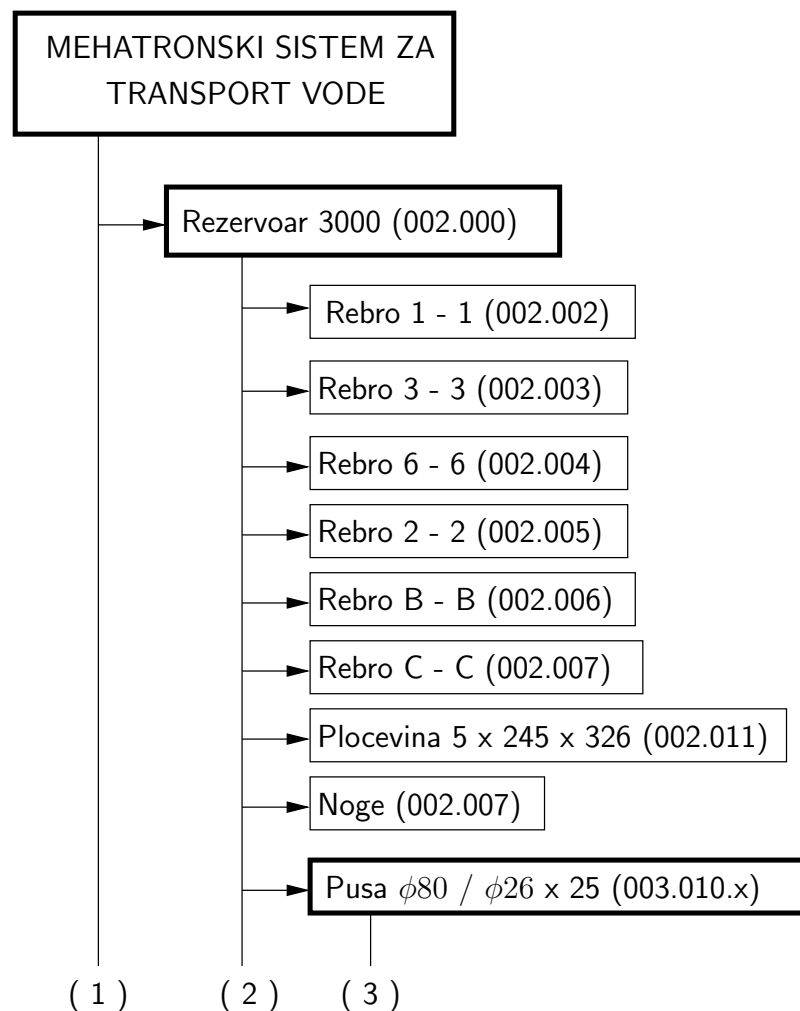
Najvecjo neusklajenost povzroca primerjava :
(1,2) = 7.0000

Vrednost tega elementa glede na ostale vrednosti bi morala biti : 12.2323

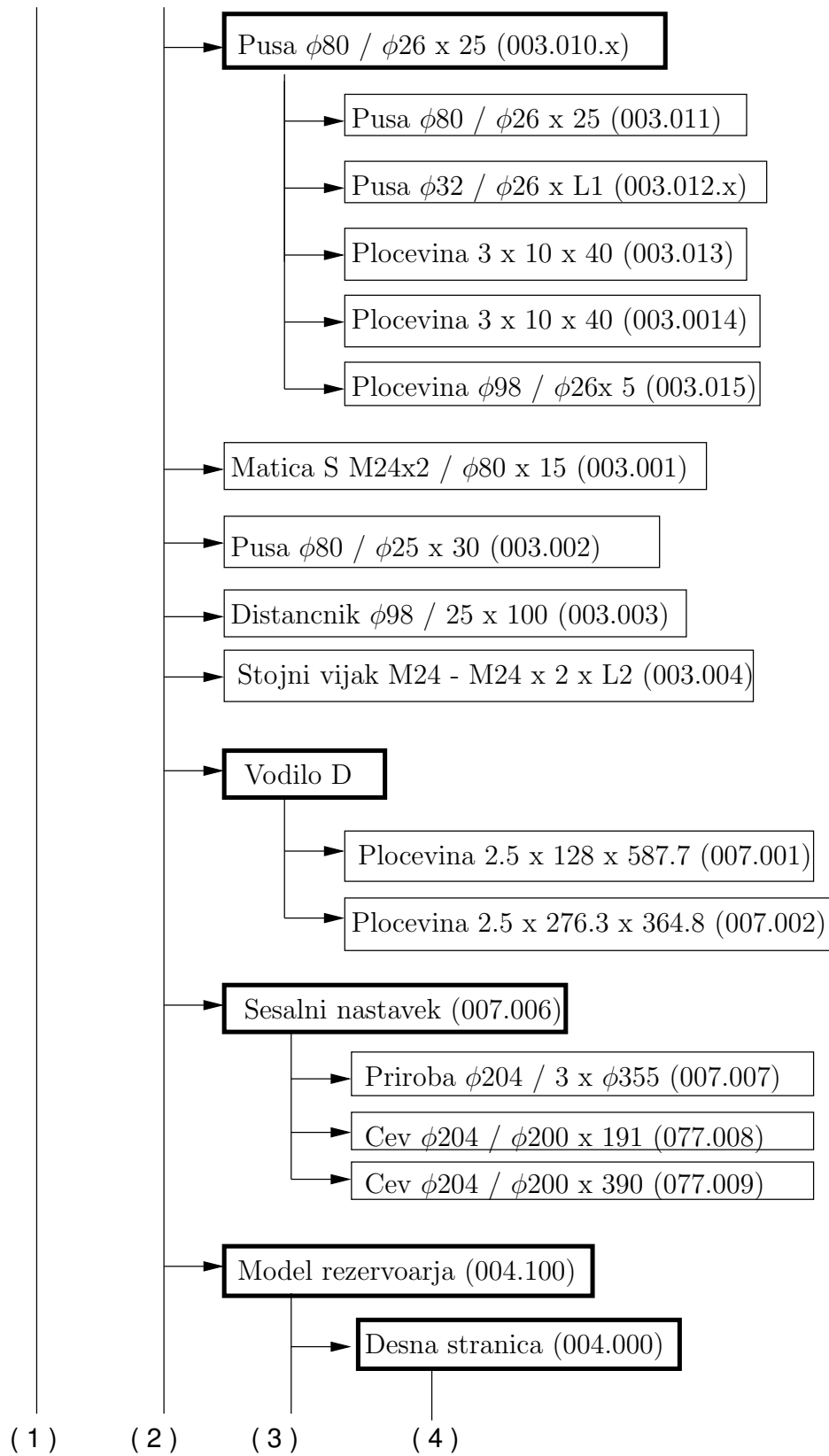
Odstopanje od prave vrednosti = 5.2323

Dodatek B

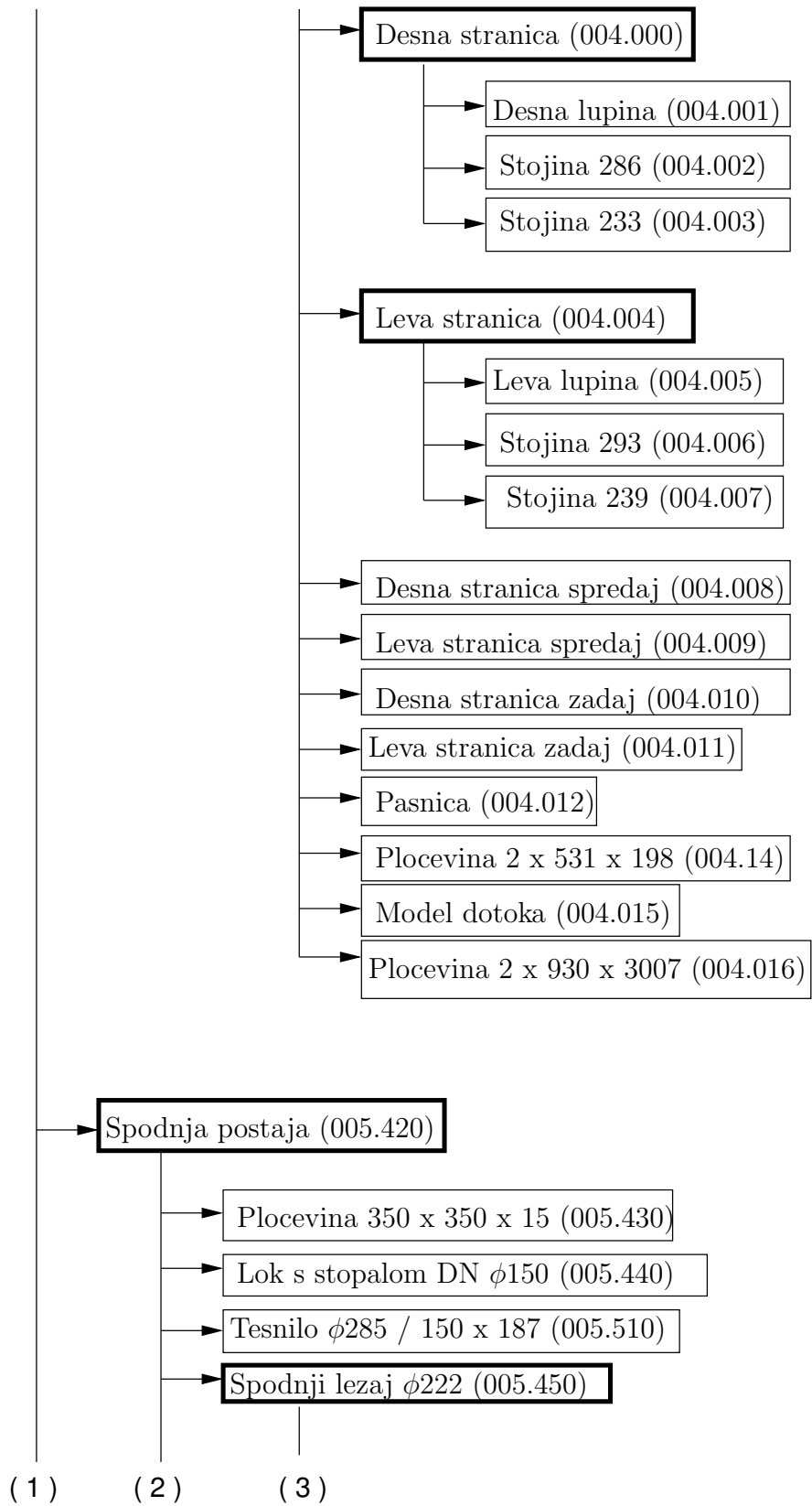
B.1 Drevesna struktura mehatronskega sistema za transport vode



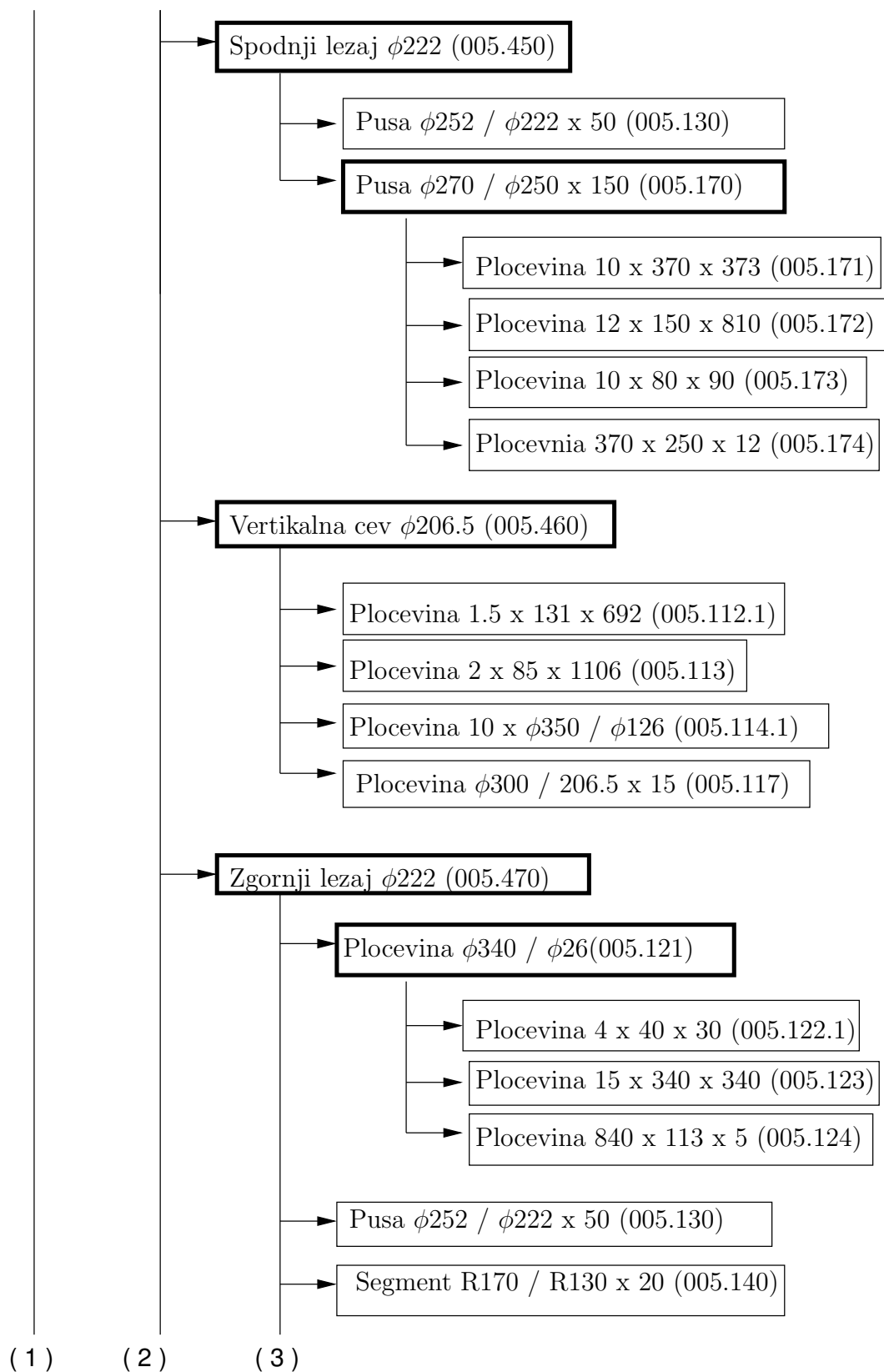
Slika B.1: Drevesna struktura mehatronskega sistema za transport vode - 1



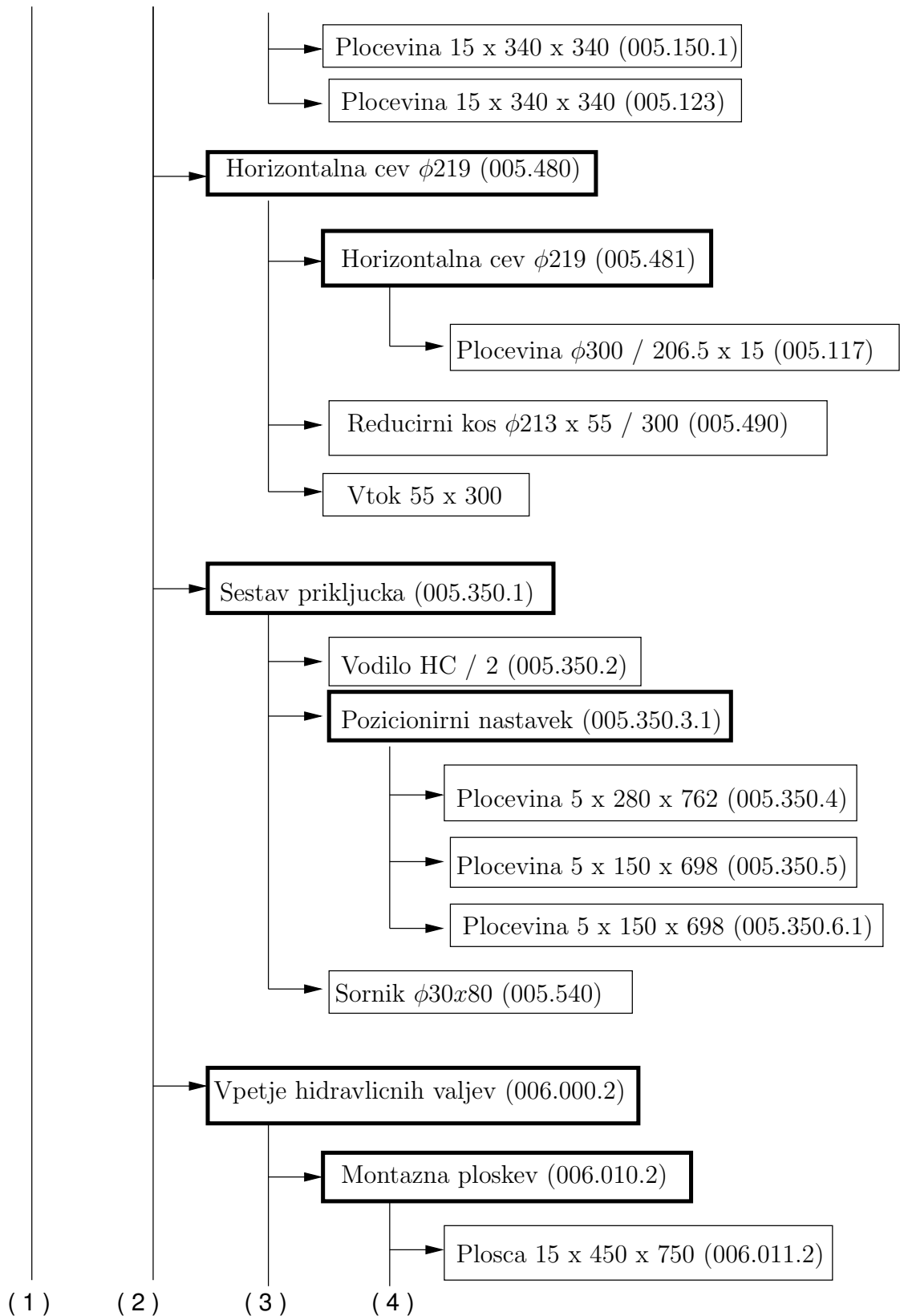
Slika B.2: Drevesna struktura mehatronskega sistema za transport vode - 2



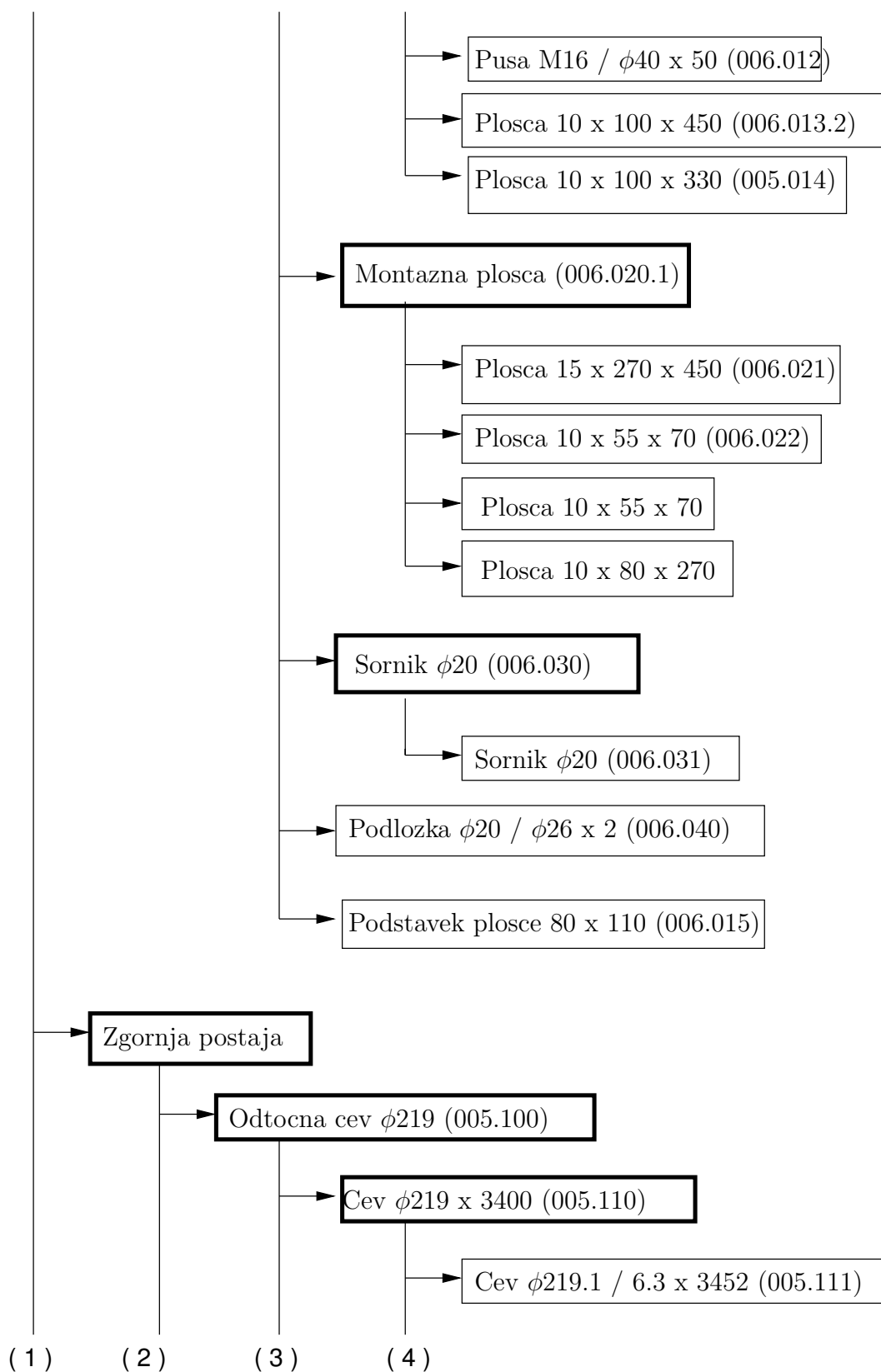
Slika B.3: Drevesna struktura mehatronskega sistema za transport vode - 3



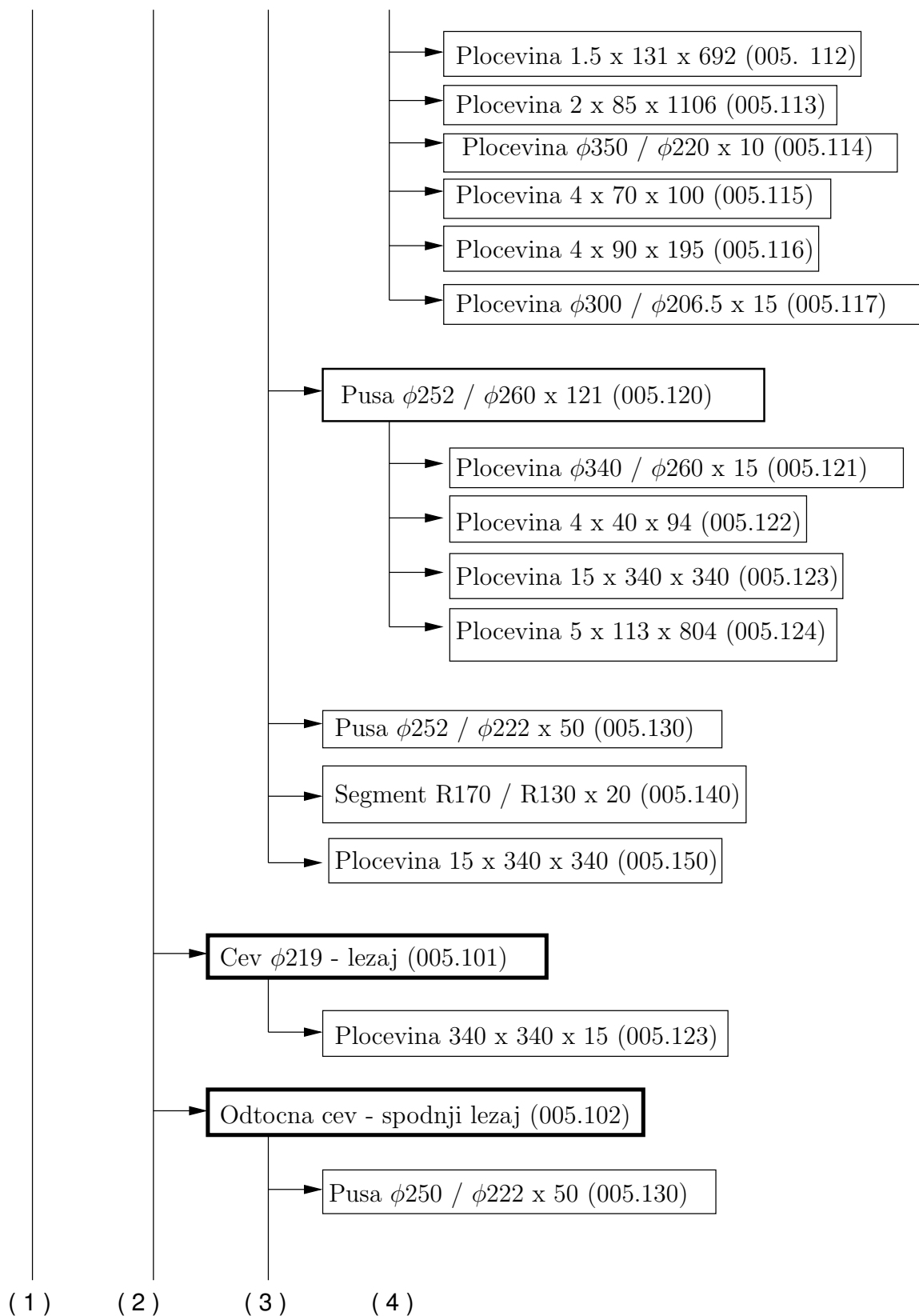
Slika B.4: Drevesna struktura mehatronskega sistema za transport vode - 4



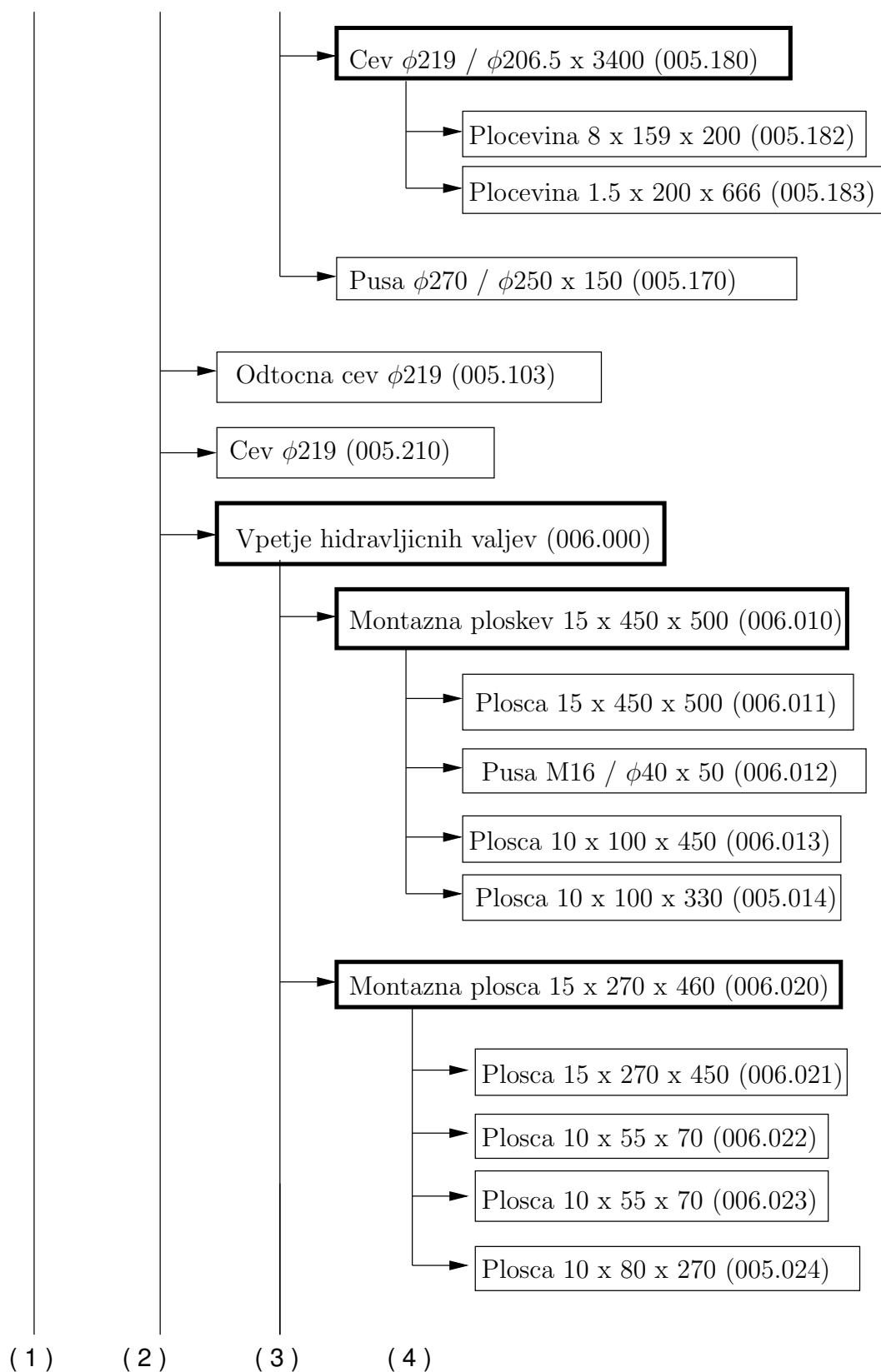
Slika B.5: Drevesna struktura mehatskega sistema za transport vode - 5



Slika B.6: Drevesna struktura mehatronskega sistema za transport vode - 6



Slika B.7: Drevesna struktura mehatronskega sistema za transport vode - 7



Slika B.8: Drevesna struktura mehatronskega sistema za transport vode - 8

Sornik $\phi 20$ (006.030)

Sornik 0 (006.031)

Podlozka $\phi 20 / \phi 26 \times 2$ (006.040)

Sestav prikljucka (005.350)

Vodilo A 490 x 351 x 199 (005.340)

Vodilo B 137 x 195 x 240 (005.345)

Vodilo C 6 x 164 x 325 (005.360)

Vodilo HC 240 x 127 x 120 (005.370)

Objem 105 x 20 / $\phi 35$ (005.380)

Potisnik (005.560)

Odpiralni mehanizem (005.520)

Sornik $\phi 10 \times 40$ (005.545)

Pozicija induktivnega senzorja (008.000)

Nosilec induktivnega senzorja (008.001)

Sestav tesnil (005.410)

Tesnilo A $\phi 355 / 206 \times 24$ (005.390)

Tesnilo B $\phi 340 / 262 \times 20$ (005.400)

Tesnilo $\phi 262 / \phi 206 \times 27$ (005.330)

Slika B.9: Drevesna struktura mehatronskega sistema za transport vode - 9

Dodatek C

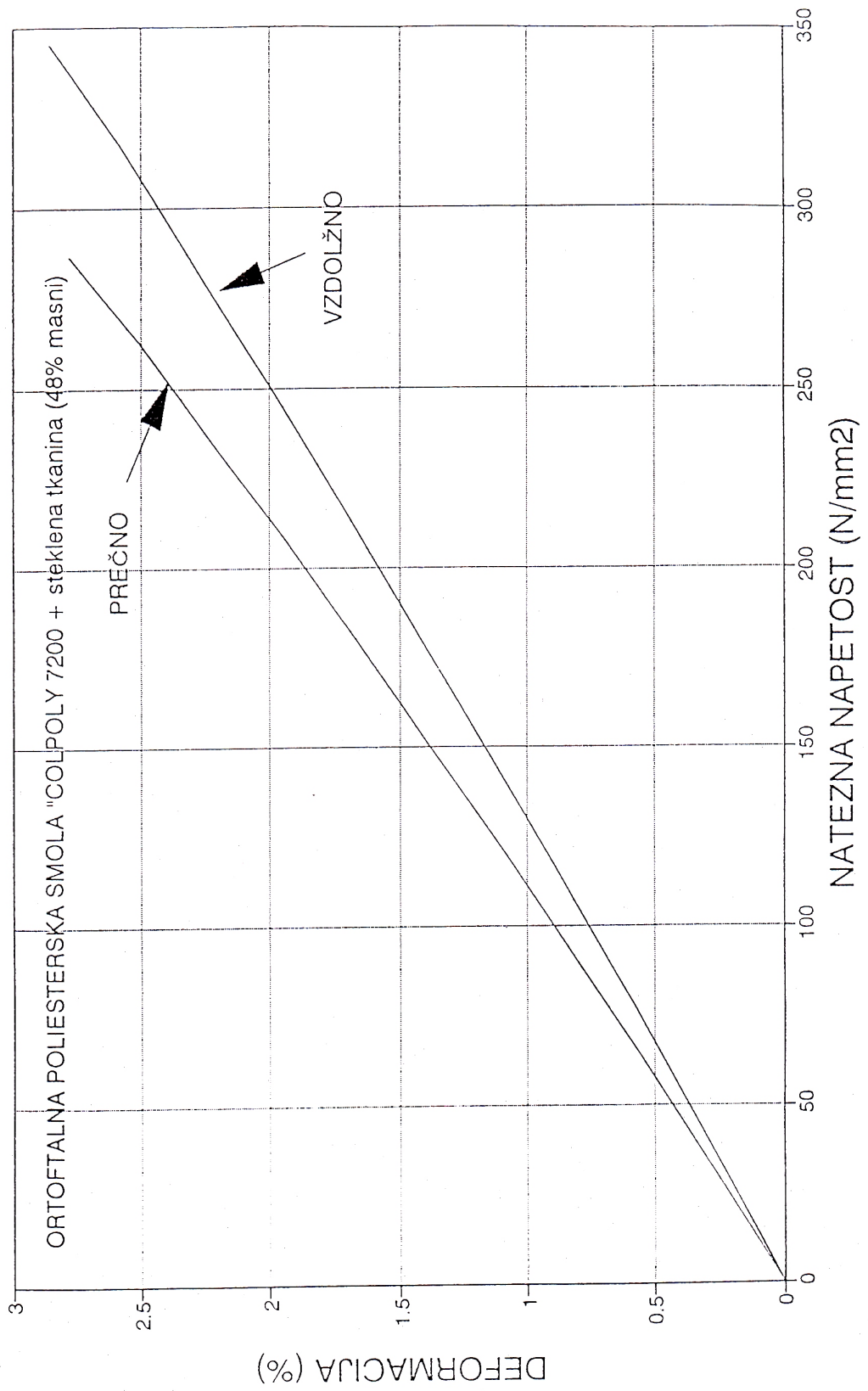
C.1 σ - ϵ diagram za laminat, pri katerem je za armaturo uporabljena steklena tkanina.

Napetostno - deformacijska krivulja za natezno obremenjen enoslojni laminata iz tkanine in poliesterske smole Colpoly 7200

C.2 σ - ϵ diagram za laminat, pri katerem je za armaturo uporabljena steklena mata.

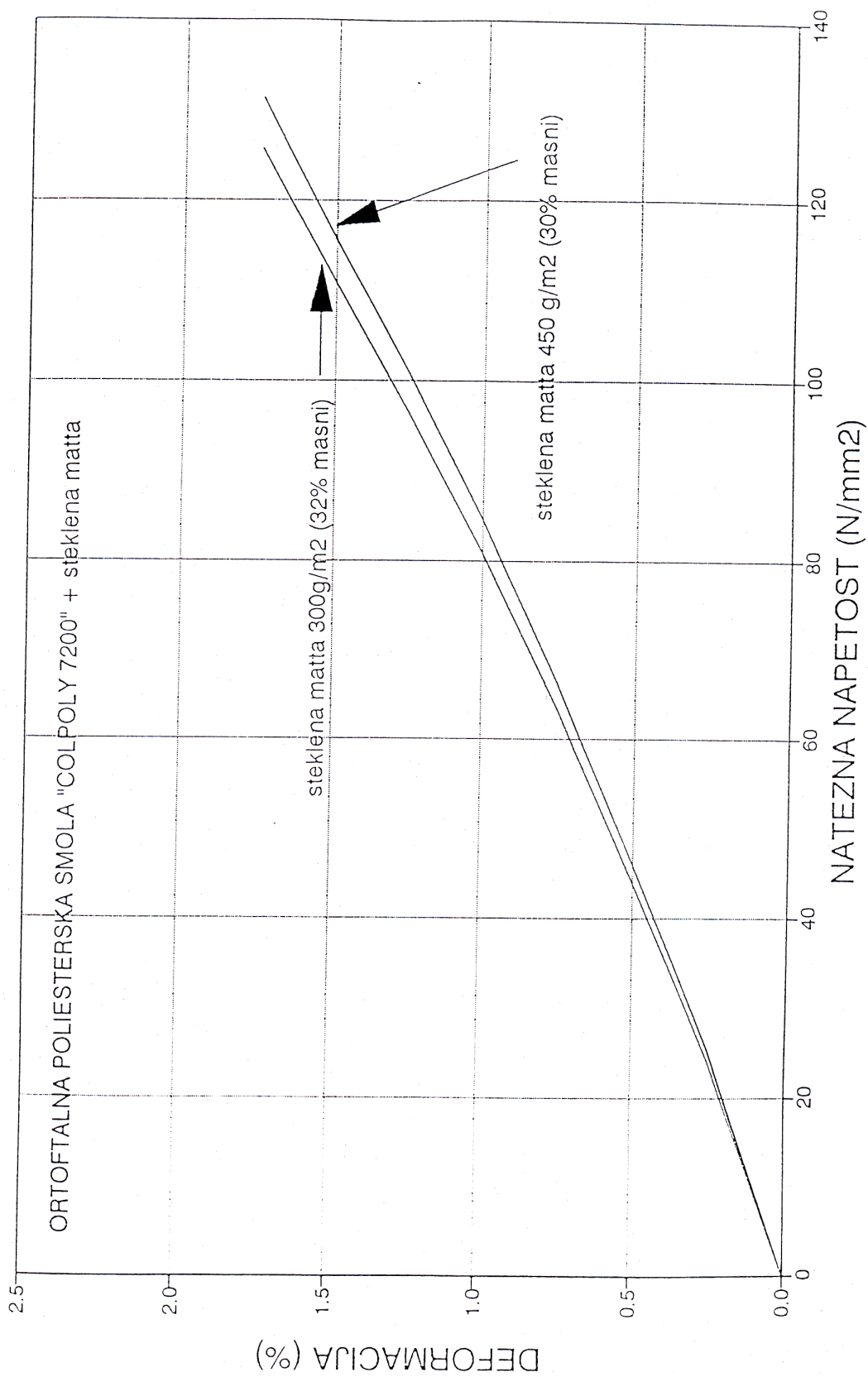
Napetostno - deformacijska krivulja za natezno obremenjen enoslojni laminata iz mato in poliesterske smole Colpoly 7200

NATEZNE KARAKTERISTIKE ENA PLAST



NATEZNE KARAKTERISTIKE

ENA PLAST



Dodatek D

D.1 Temperature na lokaciji Vogel od leta 1983 do leta 2001

Povprečne, maksimalne in minimalne temperature za mesece januar, februar, marec in april od leta 1983 do leta 2001 na lokaciji Vogel.

| leto | temperatura [°C] | | | | | | | | | | | |
|------|------------------|-------|-------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | januar | | | februar | | | marec | | | april | | |
| | povpr. | maks. | min. | povpr. | maks. | min. | povpr. | maks. | min. | povpr. | maks. | min. |
| 1983 | 1.3 | 12.5 | -10.0 | -6.4 | 1.5 | -15.4 | 0.5 | 11.0 | -10.0 | 2.5 | 11.0 | -4.5 |
| 1984 | -4.4 | 10.0 | -12.4 | -6.2 | 3.8 | -14.0 | -3.9 | 4.2 | -12.0 | 0.9 | 13.0 | -8.0 |
| 1985 | -8.0 | 4.2 | -21.0 | -4.5 | 8.1 | -18.0 | -2.5 | 6.8 | -9.5 | 1.3 | 11.2 | -8.5 |
| 1986 | -5.2 | 3.0 | -15.2 | -8.9 | 3.0 | -18.5 | -1.9 | 8.0 | -14.5 | 1.8 | 12.0 | -12.0 |
| 1987 | -6.3 | 5.1 | -21.0 | -2.6 | 8.5 | -16.5 | -6.3 | 7.0 | -18.0 | 3.2 | 15.0 | -7.5 |
| 1988 | -1.2 | 8.4 | -10.5 | -3.8 | 4.4 | -10.0 | -2.9 | 6.0 | -10.9 | 2.2 | 12.0 | -8.0 |
| 1989 | 1.0 | 12.5 | -9.0 | 0.3 | 12.0 | -8.4 | 1.9 | 14.4 | -7.0 | 2.2 | 9.5 | -4.4 |
| 1990 | -0.3 | 10.2 | -12.0 | 1.2 | 11.8 | -7.8 | 2.9 | 15.0 | -8.2 | 1.0 | 12.2 | -5.6 |
| 1991 | -3.2 | 8.0 | -14.2 | -5.8 | 12.5 | -20.8 | 1.5 | 10.0 | -8.0 | 0.9 | 10.0 | -8.2 |
| 1992 | -0.5 | 11.3 | -15.2 | -1.0 | 9.8 | -15.5 | -0.9 | 10.2 | -10.2 | 1.9 | 17.4 | -8.4 |
| 1993 | -0.8 | 11.8 | -17.4 | -2.0 | 11.2 | -15.7 | -1.6 | 13.0 | -16.0 | 3.4 | 15.0 | -8.4 |
| 1994 | -1.1 | 7.6 | -9.6 | -4.2 | 3.8 | -17.6 | 2.7 | 14.5 | -6.2 | 1.1 | 14.8 | -6.8 |
| 1995 | -5.2 | 3.0 | -12.6 | -0.1 | 10.4 | -8.6 | -2.7 | 10.5 | -10.5 | 3.3 | 18.2 | -8.0 |
| 1996 | -3.2 | 4.5 | -13.8 | -5.9 | 3.2 | -18.5 | -3.9 | 8.5 | -15.0 | 3.2 | 14.0 | -6.8 |
| 1997 | 0.2 | 12.5 | -9.5 | -0.2 | 12.5 | -9.0 | 1.7 | 13.5 | -7.0 | 1.1 | 12.5 | -7.6 |
| 1998 | -1.6 | 11.6 | -12.5 | 2.1 | 16.2 | -12.8 | -1.8 | 11.5 | -12.5 | 2.0 | 13.5 | -7.5 |
| 1999 | -1.2 | 15.5 | -16.5 | -4.3 | 8.5 | -14.6 | 0.1 | 12.0 | -9.8 | 3.2 | 11.3 | -5.2 |
| 2000 | -3.6 | 9.0 | -15.9 | -2.2 | 10.5 | -13.1 | -0.5 | 12.0 | -10.4 | 4.3 | 17.0 | -3.9 |
| 2001 | -2.8 | 4.8 | -14.3 | -1.9 | 10.5 | -11.6 | 1.2 | 8.9 | -8.4 | 2.2 | 14.3 | -8.7 |

Tabela D.1: Temperature na lokaciji Vogel od leta 1983 do leta 2001

Dodatek E

E.1 Sestavniške in delavniške risbe

V dodatku E so predstavljene sestavne in delavniške risbe, na katere se sklicujemo v diplomskem delu.

- 002.000 Rezervoar 3000
- 003.000 Priključni elementi
- 003.010.x Pusa $\phi 26xL$
- 003.001 Matica S M24x2 / $\phi 80x15$
- 005.420 Spodnja postaja
- 005.480 Horizontalna cev $\phi 219$ spodnja postaja
- 005.140 Segment R170 / R130 x 20
- 005.130 Pusa $\phi 252 / \phi 222 \times 50$
- 004.100 Model pokončnih površin rezervoarja