

Projektiranje in izdelava hidravličnega sistema za regulacijo turbine črpalne elektrarne

Aleš BIZJAK, Robert JURCA

V prispevku je prikazan projekt večjega hidravličnega sistema, ki smo ga izdelali za regulacijo turbine črpalne hidroelektrarne ČHE Avče. Tovrstni projekti niso zanimivi le zaradi impresivne velikosti samega proizvoda, ampak tudi zaradi vrste drugih izzivov s področja projektiranja in izdelave.

Projekt smo pričeli s podrobnim usklajevanjem zahtev. Osnovne zahteve je postavilo japonsko podjetje. Te smo v prvi fazi usklajevali s standardi in tehničnimi rešitvami, uveljavljenimi v evropskem prostoru. Zaradi geografske oddaljenosti in časovnega zamika je bilo neposredno komuniciranje precej omejeno, zato je bila natančna in nedvoumna predstavitev predlaganih rešitev tu precej pomembna. Obvladovanje tlačnih izgub pri velikih pretokih fluida, posebna rešitev filtracije ter konstrukcijsko obvladovanje velikosti proizvoda so bile poleg ostalih projektantskih nalog posebnosti, ki so zahtevale nekoliko bolj poglobljen pristop ob podpori sodobnih inženirskih orodij, ki jih uporabljamo v Klavdivarju.

Proizvodnja hidravličnega sistema je zajemala izdelavo posebnih sestavin, kamor npr. sodijo bloki s hidravličnimi ventili, montaža, površinska zaščita in

Mag. Aleš Bizjak, univ. dipl. inž.,
Robert Jurca, univ. dipl. inž., Klavdivar, d. o. o., Žiri

preizkus. Poseben poudarek je bil na kakovosti izdelave, čistoči in ne nazadnje tudi na ličnosti proizvoda. Med preizkusom smo v čim večji možni meri simulirali predvideno delovanje hidravličnega sistema v dejanskem okolju ter preverili parametre, s katerimi smo potrjevali pravilnost delovanja in skladnost hidravličnega sistema z zahtevami kupca.

■ 1 Hidravlični sistemi za regulacijo turbin hidroelektrarn

Na hidroelektrarnah imajo sistemi oljne hidravlike različne funkcije. Večinoma se uporabljajo tam, kjer zagotavljajo gibanje pod vplivom višje sile ali momenta, ter tudi na drugih področjih, kot je na primer mazanje turbinskih ležajev ter hlajenje in filtriranje mazalnega fluida. Pogonske funkcije hidravličnih sistemov zajemajo pogon zapornic, različnih zapiranih ventilov, perifernih strojev, kot je npr. stroj za čiščenje rešetk, ter pogon regulacije turbine kot eno najpomembnejših funkcij.

Pogon regulacije turbine v osnovi omogoča zvezno krmiljenje položaja vodilnih in gonilnih lopatic turbine, s katerimi se sama turbina prilagaja zelenemu režimu delovanja. Dejansko je izvedba hidravličnega sistema za regulacijo turbine odvisna od vrste turbine, velikosti in zahtevanega režima delovanja aktuatorjev ter od dodatnih funkcij, ki so vključene v hidravlični sistem, kot je npr. pogon predturbinskega ventila. Pomemb-

na funkcija takšnega hidravličnega sistema je tudi zagotavljanje hitrega zaustavljanja dotoka vode v primeru nujnosti. V ta namen je hidravlični sistem opremljen z akumulatorsko postajo, ki ima shranjeno zadostno količino energije za izvedbo zapiranja in lahko v omejenem času zagotovi zadosten pretok fluida ob zahtevanem tlaku. Ravno funkcija hitrega zapiranja zaradi večjih pretokov in znatne količine fluida v akumulatorski postaji bistveno vpliva na samo zasnovano hidravličnega sistema.

Tako kot na ostalih področjih industrijske hidravlike tudi na področju hidroenergetske opreme hidravlični sistemi sledijo sodobnim smernicam zasnove v smislu standardiziranosti sestavin in podsestavov, omogočanja upravljanja na daljavo, zanesljivosti, dolge življenjske dobe in nizkih stroškov vzdrževanja, kompaktnosti, preprečevanja hrupnosti ter prijaznosti do okolja.

■ 2 Hidravlični sistem za regulacijo turbine črpalne elektrarne

Hidravlični sistem za regulacijo črpalne elektrarne je bil zasnovan na osnovi projektnih zahtev japonskega kupca Mitsubishi Heavy Industries, ki je eden glavnih dobaviteljev opreme za ČHE Avče.

Dejansko gre za pogonski agregat s hidravličnim krmiljem, za del širšega sistema, ki v grobem vključuje še hidravlični akumulator oziroma

posebno tlačno posodo, centralni sistem za nadzor in vzdrževanje čistoče hidravličnega fluida, akuatorje in dodatne krmilne bloke, vgrajene ločeno od pogonskega agregata. V nadaljevanju bo pod izrazom hidravlični sistem obravnavan sistem v ožjem smislu, to je pogonski agregat, ki je zasnovan in izdelan kot celota, ter krmilni blok predturbinske lopute, ki je vgrajen ločeno.

Bistvena naloga Kladivarja na področju projektiranja je bila, da zasnuje tak sistem, ki bo upošteval projektne zahteve in bo hkrati prilagojen direktivam in standardom, veljavnim na evropskem področju. Poleg tega mora vključevati takšne sestavine, ki so na našem področju standardizirane, splošno uporabljane in dobavljive. Drugi del projektantskih nalog je zajemal usklajevanje in izvajanje vseh podrobnosti, predvsem konstrukcijskega značaja, ki omogočajo optimalno umestitev in priključitev hidravličnega sistema na mesto delovanja ter optimalno dostopnost za uporabo, nadzor delovanja in vzdrževanje.

■ 3 Zasnova hidravličnega sistema

Hidravlični sistem je prikazan na sliki 1. Njegovi glavni podsistemi so:

- dve črpalki zmogljivosti približno



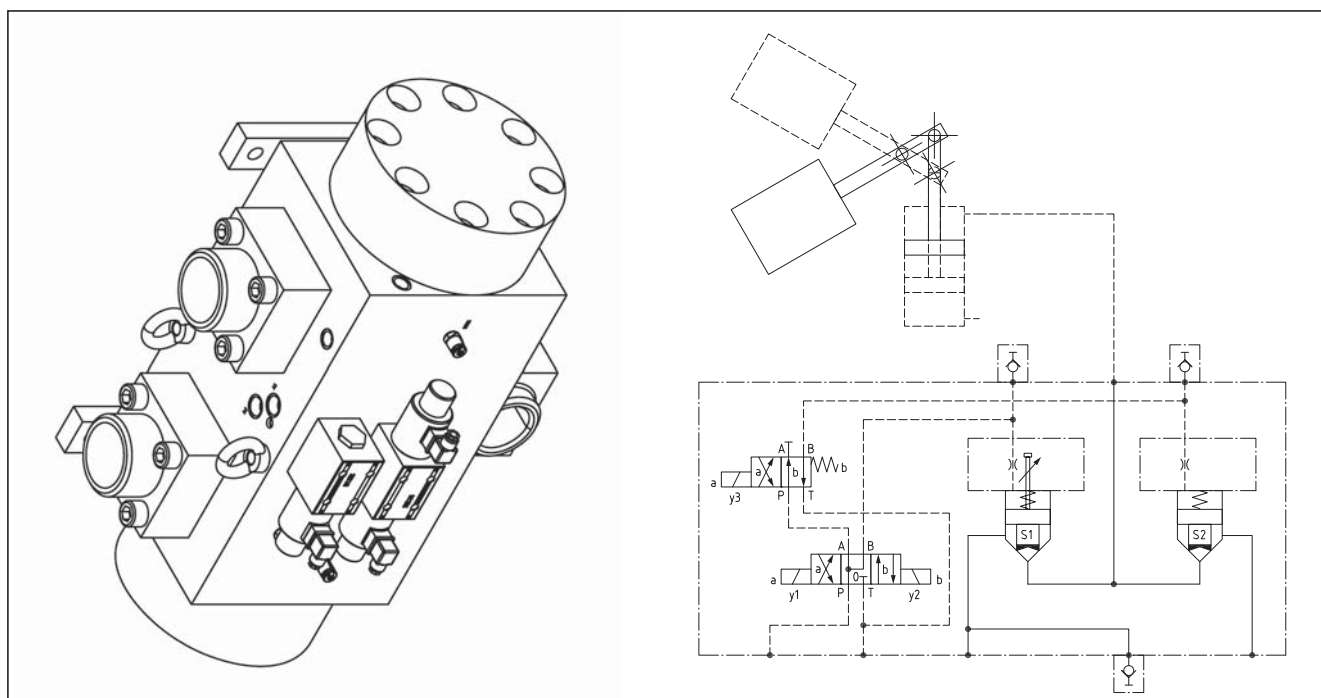
Slika 1. Hidravlični sistem v montaži Kladivarja

- 300 l/min, gnani z elektromotorjem,
- bloki z varnostnim ventilom, obtočnim ventilom in protipovratnim ventilom,
- rezervoar volumna 9 m³, dvoprekatne izvedbe, s sistemom za nadzor nivoja fluida,
- sistem za nadzor in vzdrževanje temperature fluida v rezervoarju,
- merilniki tlaka,
- sistem grobe filtracije in
- krmilni blok predturbinskega ventila, ki je vgrajen ločeno.

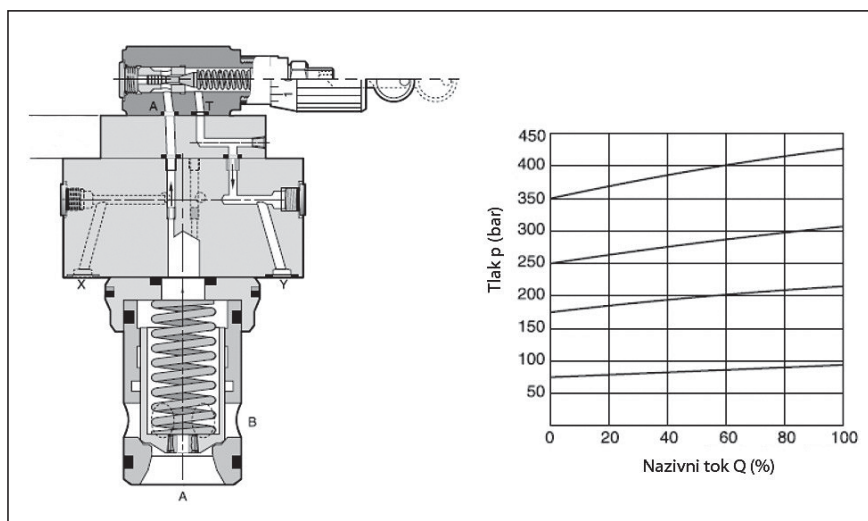
Zaradi varovanja tehničnih rešitev podrobnosti hidravličnega sistema ne moremo razkrivati. V nadaljevanju bodo predstavljene posebnosti hidravličnega sistema z vidika projektiranja in konstruiranja.

3.1 Izbor ventilov

Sistem deluje z relativnim nizkim tlakom – približno 75 bar, vendar ob dokaj velikih pretokih, ki jih ustvarjajo črpalke, hidravlični akumulator



Slika 2. Zasnova hidravličnega bloka za upravljanje predturbinskega ventila



Slika 3. Prezerna slika prelivnega ventila in njegova p/Q -karakteristika

ter hidravlični valj predturbinskega ventila. Zadnja dva lahko v zahtevanih primerih ustvarita nekajkrat višji pretok od same črpalke. Ob nizkem tlaku in velikih pretokih pa se poveča pomen obvladovanja tlačnih izgub v sistemu, zato je prva resnejša naloga projektanta pravilen izbor velikosti hidravličnih ventilov. Krmiljenje večjih pretokov izvajamo z ventili iz sistema DIN-vložkov, ki opravljajo funkcije zapiralnih, protipovratnih dušilnih in varnostnih ventilov. Nazivne velikosti teh ventilov segajo do DN 100.

Na sliki 2 je prikazan primer zasnove hidravličnega bloka za upravljanje enostransko delujočega hidravličnega valja, ki krmili aktuator predturbinskega ventila. Ob povratnem gibu pod vplivom sile teže uteži dobimo približno več kot 5-krat večji pretok od toka črpalke. Zaradi zagotavljanja ustrezne hitrosti upravljanja predturbinskega ventila dušenje skozi sedežna ventila v danih pogojih ne sme presegati dovoljene vrednosti.

Pri izboru prelivnega (varnostnega) ventila smo bili ozko omejeni s tlačnim območjem med tlakom, pri katerem

prelivni ventil začne odpirati, ter največjim tlakom, ki se na osnovi p/Q -karakteristike prelivnega ventila pojavi pri polnem toku črpalke čez prelivni ventil (slika 3). Tlak pričetka odpiranja je namreč najvišji tlak, pri katerem dobimo še poln uporabni tok črpalke, medtem ko je najvišji tlak sistema

določen z omejitvami tlačne posode in njenih varnostnih sestavin. Zahtevam smo se prilagodili z izborom prelivnega ventila takšne velikosti, da je tok črpalke predstavljal le približno 20 % nazivne vrednosti toka ventila.

3.2 Konstruiranje hidravličnega sistema

Konstruiranje hidravličnega sistema smo izvajali v 3D v programu SolidWorks. Konstruiranje je zajemalo:

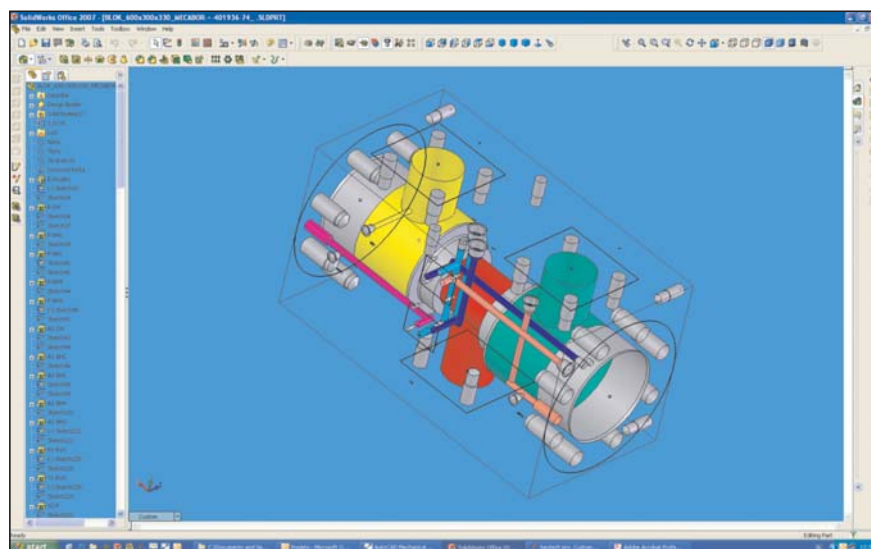
- konstruiranje krmilnih blokov,
- konstruiranje rezervoarja,
- izris sestavov pogonskega agregata in hidravličnih blokov.

Na osnovi izbranih sestavin smo najprej konstruirali hidravlične krmilne bloke ter izrisali njihove sestave.

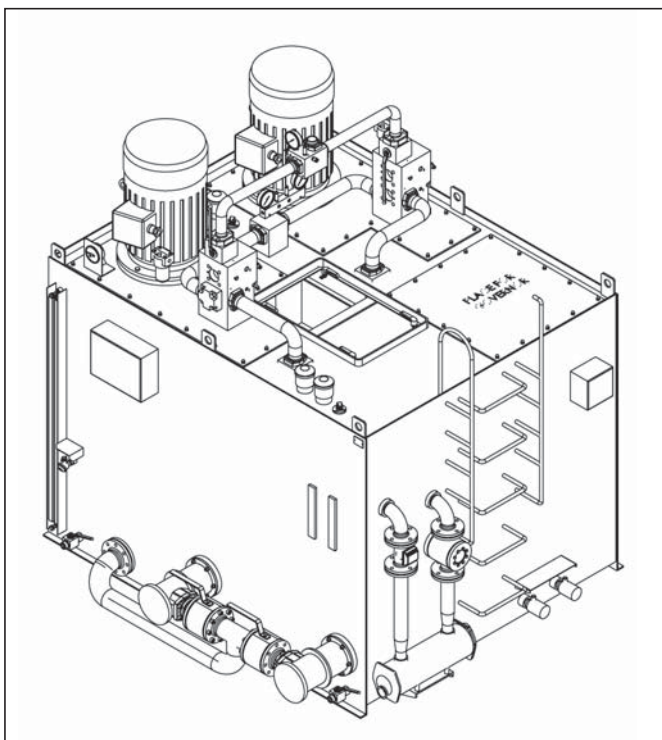
Konstruiranje smo izvajali s pomočjo posebnega programa za konstruiranje hidravličnih blokov MDTools, ki ga uporabljamo kot nadgradnjo programa SolidWorks. Program je bil skupaj s povezanimi CAM-programi podrobneje predstavljen na konferenci Fluidna tehnika 2007.

Posebne koristi takšnega programa so se v tem primeru izkazale predvsem v smeri enostavnejšega prilagajanja sprotnim zahtevam projekta. Program namreč združuje informacije, pridobljene iz hidravlične sheme, konstrukcijske lastnosti sestavin ter zahtevano konstrukcijo bloka v 3D-model sestava. V primeru prilagoditev, kot so zamenjave ali dodajanje sestavin, spreminjanje njihove lege, prilagajanje priključkov ipd., se velik del operacij, od spremembe parametrov do izdelave 3D-sestava, izvede avtomatsko in hitro ter z bistveno manj vložene delo, kot če bi popravke izvajali ročno.

Te risbe sestavov smo nato uporabljali sami pri nadaljnjem konstruiranju hidravličnega sistema ali pa smo jih s pomočjo elektronske pošte pošiljali kupcu, ki jih je nato uporabljal pri snovanju sistema. Tovrstno tehnično komuniciranje s kupcem je predstavljalo tudi največji delež inženirskega sodelovanja ter usklajevanja in se je izkazalo predvsem po ažurnosti ne glede na geografsko oddaljenost ter tudi po popolnosti in točnosti podatkov.



Slika 4. Modeliranje hidravličnega bloka



Slika 5. Model hidravličnega sistema

Bistvena posebnost našega hidravličnega sistema je bila tudi velikost – posledica velike dimenzije rezervoarja. Poleg ustreznega dimenzioniranja nosilnih elementov sta pri sistemu takšne velikosti izpostavljeni tudi pomembnost umestitve v prostor, razporeditve sestavin za enostavno posluževanje ter zasnova, ki omogoča varno proizvodnjo in kasnejše posluževanje in vzdrževanje.

Rezervoar vsebuje dva prekata, ki ju povezuje grob filtrirni sistem. Prvi prekat je namenjen stekanju povratnih vodov, v drugi prekat pa sta nameščeni črpalki in njuna sesalna voda. Takšna zasnova varuje črpalki in preprečuje, da bi morebitne nečistoče iz povratnih vodov sistema vdrle v katero od črpalk ter naprej v sistem. Stena med obema prekatoma deluje tudi kot ojačitev rezervoarja. Na rezervoarju so vse sestavine hidravličnega sistema (slika 5), razen tistih, ki so dobavljene kot priložena oprema in so vgrajene ločeno. Zato ima rezervoar tudi funkcijo povezovanja hidravličnih sestavin v celoto. Tu je predvsem treba upoštevati maso sestavin, možnosti funkcionalne povezave med samimi sestavinami sistema ter primerno zasnovane in nameščene povezave z ostalimi se-

stavlinami širšega sistema.

Konstrukcija hidravličnega sistema je pogojena z možnostmi razpoložljivega prostora ter z dostopom za posluževanje in vzdrževanje. Prostor, kjer je hidravlični sistem za regulacijo turbine, je običajno zelo omejen ter zasíčen z različno opremo in inštalacijami. Na osnovi razpoložljivega prostora je sistem zasnovan tako, da zadostujeta

le dve strani dostopa. Iz smeri glavnega dostopa lahko tako spremljamo večino vizualnih signalov za nadzor stanja in delovanja sistema (slika 6), medtem ko je druga prosta stran namenjena fizičnemu dostopu na sam sistem ter nadzoru pretoka na nekaterih nizkotlačnih vodih.

Zaradi višine rezervoarja je bilo potrebno urediti tako dostop na sistem

kot tudi možnost varnega vstopa in spusta v rezervoar. Za ta namen smo v konstrukcijo rezervoarja vključili zunanjo lestev, loputo za dostop človeka v rezervoar ter tudi notranjo lestev.

3.3 Filtrirni sistem

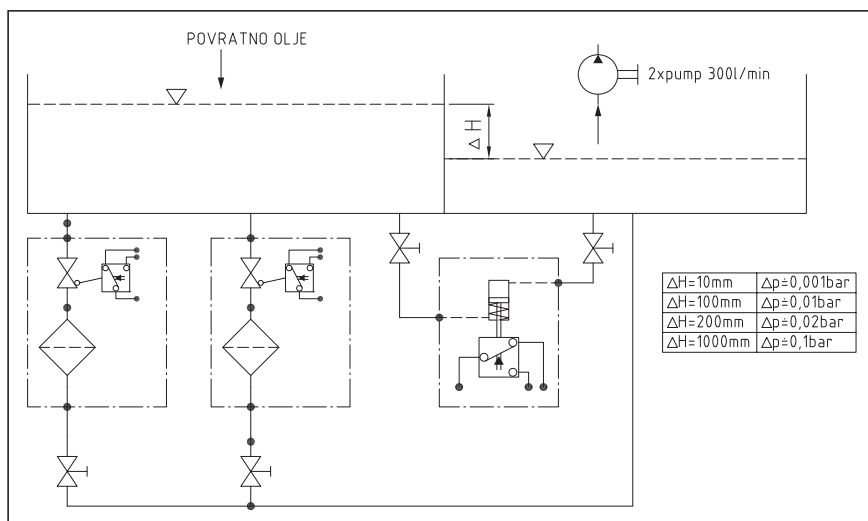
V hidravlični sistem so vključeni le grobo filtriranje in filtri za zagotavljanje čistoče fluida za krmiljenje ventilov. Hidroelektrarna ima namreč centralni sistem za celovit nadzor čistoče in vzdrževanje hidravličnega fluida, ki vključuje še fluid za mazanje ležajev.

Posebnost našega sistema pa je izvedba grobega filtriranja, ki povezuje oba prekata rezervoarja in filtrira fluid, ki prehaja iz enega prekata v drugega. Pri tem tok skozi filter ustvarja le tlačna razlika, ki nastane zaradi različnih nivojev gladine fluida v obeh prekatih. Ker gre za grobo filtriranje skozi kovinsko mrežico, za zagotavljanje ustreznega toka zadostuje že manjša tlačna razlika.

Idejo za takšno izvedbo je dal naročni. V Kladivarju pa smo bili nad njo v začetku precej skeptični, saj se s takšnimi rešitvami še nismo srečevali. Vsakršno samodejno prehajanje fluida je lahko precej negotovo, saj se večkrat soočamo z različnimi pretoki



Slika 6. Postavitev vizualnih merilnikov in indikatorjev



Slika 7. Shema grobe filtriranja

ter spremenljivo viskoznostjo, ki se spreminja s temperaturo fluida. Na osnovi kalkulacij in ob upoštevanju različnih dejavnikov pa smo dejansko potrdili možnost izvedbe ter tak sistem tudi izdelali in uspešno preizkusili.

Razmere v filtru nadzira nastavljivo diferencialno tlačno stikalo, ki spremlja tlačno razliko med obema prekatoma in javi, če je vrednost prevelika. Katera vrednost dejansko ustreza delovnim razmeram sistema in katera prikaže preveliko zasičenost filtra, bo natančno definirano na osnovi zagonskih preizkusov, ko bo znana tudi

dinamika dotoka fluida iz povratnih vodov.

■ 4 Izdelava sistema

Izdelava sistema je zajemala izdelavo posebej zasnovanih blokov, montažo sistema, površinsko zaščito ter preizkus. Hidravlični bloki so bili obdelani v Kladivarju na posebnem CNC-stroju, ki je namenjen izdelavi posamičnih blokov. Izjema je bil le blok NG100, saj izdelava izvrtine za DIN-vložek takšne velikosti zahteva večji in močnejši stroj, kot ga imamo na voljo. Pomemben del obdelave je tudi temeljito raziglanje in bruše-

nje površin na zahtevano hrapavost. Raziglanje se pri večjih blokih izvaja ročno, manjše bloke pa raziglamo s tehnologijo termičnega raziglanja v posebnem stroju.

Proizvodnja takšnega hidravličnega sistema zahteva dovolj razpoložljivega prostora za montažo in preizkus ter pripomočke za varno delo in rokovanje z večjimi sestavinami. V Kladivarju imamo posebno proizvodno halo za montažo hidravličnih sistemov, ki zadosti tudi zahtevam proizvodov večjih dimenzij (slika 8). Posebno pozornost namenjamo čiščenju in preprečevanju vdora delcev v notranjost hidravličnih sistemov. Zato je ta montažna hala ločena od drugih prostorov, proizvodnih in transportnih, ki so večji potencialni vir nesnage.

Med preizkusom hidravličnega sistema smo skušali v največji možni meri simulirati razmere med dejanskim delovanjem hidravličnega sistema. Posebno pozornost je zahtevalo preverjanje delovanja sestavin pod maksimalnim pretokom fluida, ki smo ga smo ustvarili z uporabo hidravličnih akumulatorjev.

■ 5 Zaključek

V Kladivarju imamo dolgoletne izkušnje na področju projektiranja in izdelave hidravličnih sistemov. Kljub temu je skoraj vsak nov sistem svojevrsten izziv. V obravnavanem primeru je najbolj očitna dimenzijska velikost, vendar bi lahko rekli, da je njegova glavna posebnost v zahtevnosti komuniciranja in usklajevanja, tako zaradi obsežnosti celotnega projekta kot tudi zaradi globalne razpršenosti vseh udeležencev. Pri obvladovanju takšnega projekta, v vsem svojem obsegu in dinamiki sprememb ter prilagoditev, igra zelo pomembno vlogo ustrezna informacijska in CAD-podpora projektantskih aktivnosti.



Slika 8. Montaža hidravličnih sistemov v Kladivarju

