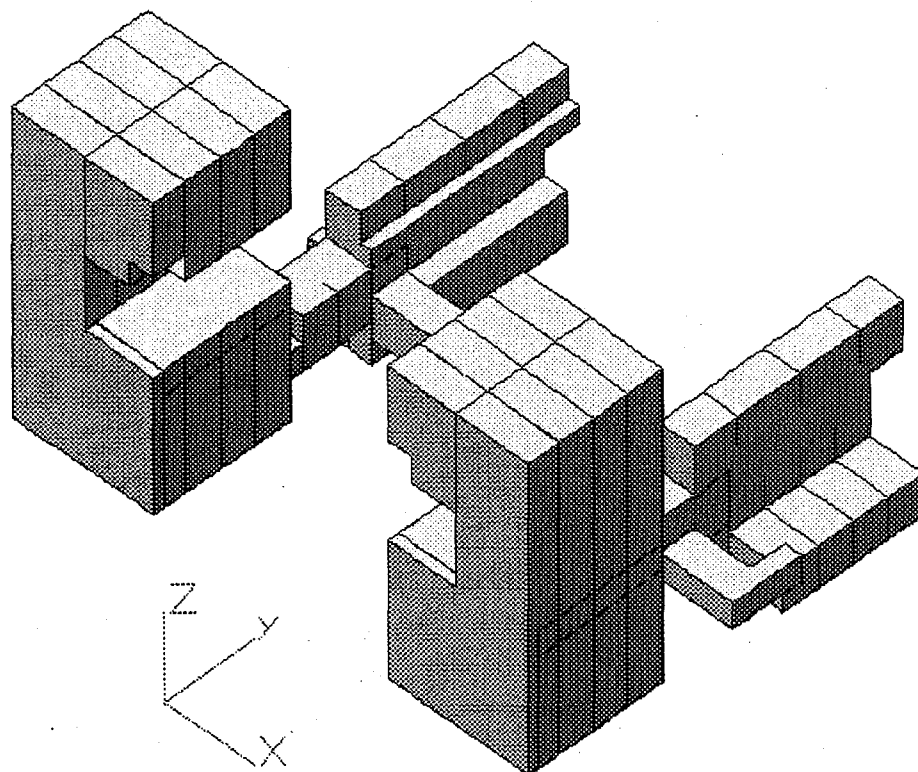


### 6.3 Avarių lokalizacijos sistemos saugumo analizė

Šio darbo tikslas buvo atlikti Ignalinos AE avarių lokalizavimo sistemos (18 pav.) struktūrinę analizę. Tai buvo pareikalauta Ignalinos AE saugumo įvertinimo grupės, remiantis SAR ir RSR rekomendacijomis /ISP-97/. Įvairių komponentų saugumo pagrindimas apima visas projektines avarijas. Tuo tikslu buvo atlikta visų projektinių avarių analizė kompiuterinės programos RELAP5 pagalba ir buvo nustatyta, kad didžiausias radioaktyvių produktų išmetimas ir didžiausias slėgis ALS patalpose susidarys MPA atveju, t.y. įvykus slėgimo kolektoriaus giljotiniam trūkiui. Šiame darbe ALS struktūrinė analizė atlikta MPA atveju. ALS saugumo pagrindime atlikti sekantys darbai /OBS-98/:

- PCK termohidraulinių parametrų MPA atveju nustatymas;
- ALS patalpų nesandarumo nustatymas;
- ALS termohidraulinių parametrų MPA atveju nustatymas;
- Labiausiai apkrautų ALS gelžbetoninių konstrukcijų MPA atveju neardanti kontrolė;
- Betono savybių tyrimas;
- Gelžbetoninių konstrukcijų armatūros cheminės sudėties ir mechaninių charakteristikų tyrimas;
- ALS struktūrinio vientisumo MPA atveju analizė;
- Apšvitinimo dozių nustatymas sanitarinės apsauginės zonos riboje;
- ALS inžinerinis įvertinimas.



18 pav. ALS bendras vaizdas

### ***Priverstinio cirkuliacinio kontūro termohidraulinių parametų MPA atveju nustatymas***

Įvertinant ALS saugumą yra svarbu ar šios sistemos gelžbetoninės konstrukcijos atlaikys apkrovas susidarančias avarių atveju ir nustatyti ALS hermetinių patalpų galimybę sustabdyti radioaktyvių medžiagų, patenkančių į šias patalpas avarijos metu, patekimą į aplinką. Todėl yra svarbu minėtų analizių atlikimui parinkti tokią avarią, kurios metu susidaro didžiausias slėgis ALS patalpose ir gaunamas didžiausias radioaktyvių medžiagų išmetimas. Tai gaunasi MPA atveju, t.y. esant giljotiniam trūkiui priverstinio cirkuliacinio siurblio slėgimo kolektoriaus. Tai yra atlikta panaudojant kompiuterinę programą RELAP5. Nustatyta išmetama energija ir skilimo produktų kiekis išmetamas į ALS patalpas avarijos metu. Gauti rezultatai panaudoti ALS termohidraulinių parametų ir apšvitinimo dozių sanitarinės apsauginės zonos riboje MPA atveju apskaičiavimui.

### ***ALS patalpų nesandarumo nustatymas***

Atominių elektrinių ALS patalpų sandarumas yra labai aktuali problema. Todėl šio projekto vykdymo metu didelis dėmesys buvo skirtas patalpose esančių nesandarumų nustatymui. Nesandarumo vietų nustatymui įsigyta ir pradėta naudoti termovizinė kamera ir akustinis ištekėjimų ieškotojas. 1998 m planinio remonto metu nustatytas faktinis ekvivalentinis ALS patalpų nesandarumo plotas, kuris panaudotas ALS termohidraulinių parametų MPA atveju skaičiavimui kompiuterine programa CONTAIN.

### ***ALS termohidraulinių parametų MPA atveju nustatymas***

Šiame projekte atliktas ALS patalpų hidraulinių parametų skaičiavimas kompiuterinės programos CONTAIN pagalba. Skaičiavime panaudota masės ir energijos išmetimo funkcija, gauta kompiuterinės programos RELAP5 pagalba. ALS termohidraulinių parametų skaičiavimas atliktas veikiant ALS siurblinės-aušintuvo įrenginiui ir įvertinus faktinį patalpų nesandarumą. Nustatyta, kad slėgis ALS patalpose avarijos metu labai priklauso nuo patalpų nesandarumo. Maksimalus slėgis MPA atveju ALS atspariuose blokuose neviršija 0,267 MPa, o ALS bokštuose 0,148 MPa. Tai neviršija projektinių slėgių atitinkamai lygių 0,4 MPa ir 0,18 MPa. Gauti rezultatai panaudoti ALS gelžbetoninių konstrukcijų struktūrinėje analizėje.

### ***Labiausiai apkrautų ALS gelžbetoninių konstrukcijų MPA atveju neardanti kontrolė***

Labiausiai apkrautų ALS gelžbetoninių konstrukcijų neardančią kontrolę atliko FORCE instituto (Danija) specialistai. Labiausiai apkrautos vietas nustatė ISAG grupės darbuotojai kompiuterinės programos ALGOR pagalba. Buvo atlikta 10 vietų ALS sienose ir perdengimuose neardanti kontrolė. Nustatyta, kad visose matavimo vietose armavimo nukrypimai nuo projekto yra nežymūs, išskyrus vieną perdengimą, t.y. būgno-separatoriaus nuleidžiamųjų vamzdynų (407-2) patalpos perdengimas 25,1 m aukštyje. Neardančios kontrolės rezultatai buvo panaudoti ALS struktūrinėje analizėje.

### ***Betono savybių tyrimas***

Kauno Technologijos universiteto Deformuojamų kūrų laboratorijos specialistai atliko betono bandinių, paimtų iš Ignalinos AE 1 bloko ALS perdengimų ir sienų, stipruminių savybių tyrimus. Išvadose pažymėta, kad betonas pagal atliktų tyrimų rezultatus pilnai atitinka M300 betonui keliamus reikalavimus, kuris buvo naudotas ALS statybai. Tyrimų rezultatai buvo panaudoti ALS struktūrinėje analizėje.

### ***Gelžbetoninių konstrukcijų armatūros cheminės sudėties ir mechaninių charakteristikų tyrimas***

Kauno Technologijos universiteto Mašinų projektavimo specialistai nustatė armatūrinių strypų cheminę sudėtį, mechanines charakteristikas ir armatūrinių strypų klasę. Tyrimams naudoti armatūriniai strypai, paimti iš Ignalinos AE 1 ir 3 blokų perdengimų ir sienų. Išvadose nurodyta, kad armatūriniai strypai pagal cheminę sudėtį ir mechanines charakteristikas atitinka A-III klasės armatūros strypų reikalavimus. Šios klasės armatūriniai strypai yra panaudoti ALS patalpų armavimui. Taip pat išvadose yra paminėta, kad 1 bloko armatūriniai strypai yra stipresni negu 3 bloko analogiški armatūriniai strypai. Tyrimų rezultatai buvo panaudoti ALS struktūrinėje analizėje.

### ***ALS struktūrinio vientisumo MPA atveju analizė***

ALS struktūrinio vientisumo įvertinimui MPA atveju panaudotos baigtinių elementų kompiuterinės programos ALGOR, NEPTUNE ir TEMP-STRESS. Taip pat ALS atsparių blokų sienų ir perdengimų stipruminiai skaičiavimai atlikti pagal statybinių normų SNiP 2.03.01-84 reikalavimus /SNP-84/.

ALS patalpų geometrinių duomenys surinkti iš statybinių brėžinių 2 bloko, kurie identiški 1 bloko brėžiniams. Neaiškios vietos ir pastebėti netikslumai buvo tikslinami pagal gelžbetoninių konstrukcijų armavimo brėžinius ir pagal vietą.

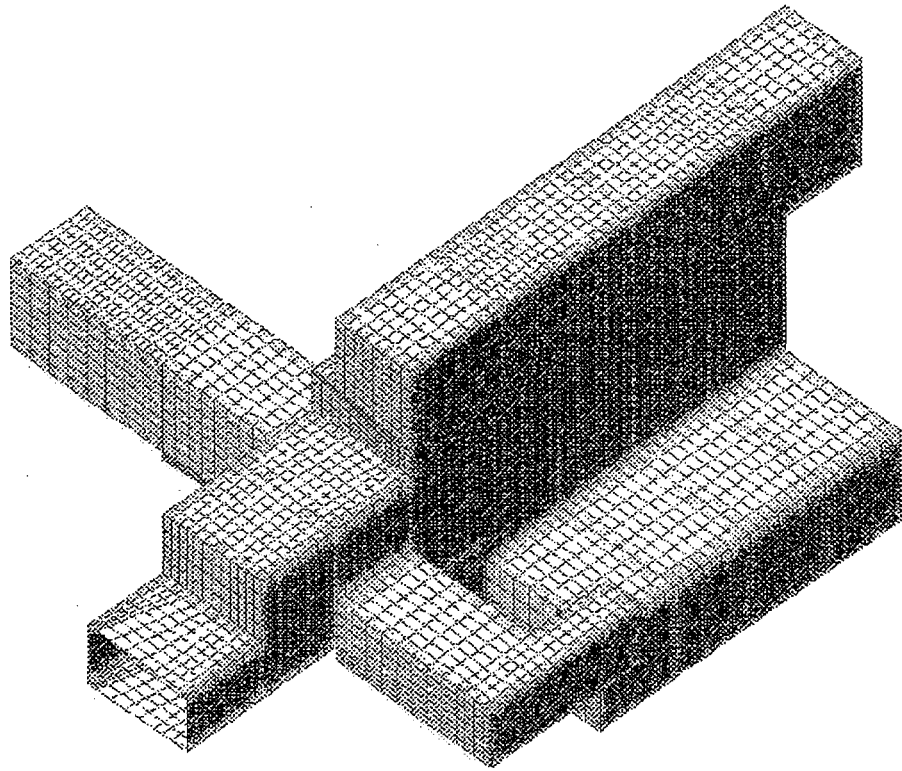
Duomenys apie sienų ir perdengimų armavimą surinkti iš gelžbetoninių konstrukcijų projektų. Projektiniai duomenys sulyginti su neardančios kontrolės rezultatais. Esant neatitikimui, primti neardančios kontrolės rezultatai.

*Baigtinių elementų modelis ALS struktūrinei analizei.* ALS statybinių konstrukcijų stiprumo įvertinimui panaudotas baigtinių elementų metodas (kompiuterinės programos ALGOR ir NEPTUNE). Dėl ALS sudėtingos konfigūracijos ALS modeliuota atskiromis patalpomis. Po to šios patalpos buvo apjungtos į vieną modelį. Kadangi ALS yra sudaryta iš dviejų simetriškai išdėstytų atsparių blokų ir bokštų, tai analizė atlikta dešinės ALS pusės (žiūr. 18 pav.). Kadangi atspariuose blokuose ir bokštuose slėgiai avarijos metu yra skirtingi, tai struktūrinė analizė juose atlikta atskirai. Skaičiavimui naudoti modeliai pavaizduoti 19 ir 20 paveiksluose.

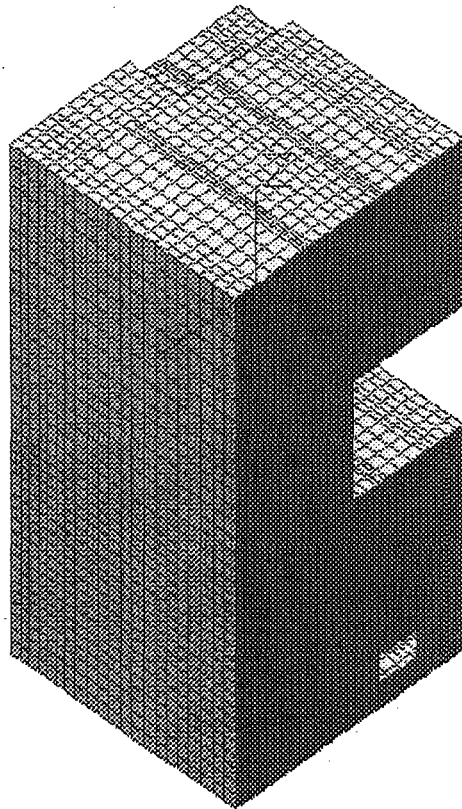
ALS patalpų gelžbetoninės sienos ir perdengimai modeliuoti plokščiais sluoksniais baigtiniais Mindlino elementais /PET-94/. Kadangi gelžbetonio armavimas statmenomis kryptimis yra skirtingas, skaičiavimo modelyje armatūriniai strypai buvo perskaičiuojami į plokštes, kurios skerspjūvio plotas yra analogiškas armatūrinių strypų skerspjūvių plotų sumai. Labiausiai apkrautos ALS sienos ir perdengimai papildomai armuotos metaliniais karkasais. Karkasai modeliuoti strypiniais elementais. Kadangi betonas blogai priešinas tempimui, tai tempiamoje zonoje gali atsirasti plyšiai, ir tuo pačiu ši zona bus neatspari tempimui. Todėl modelyje tempiamas betonas pakeistas tuštuma (žiūr. 21 pav.).

Atliekant ALS gelžbetoninių konstrukcijų modeliavimą kompiuterine programa NEPTUNE panaudotas keturių nodų ir keturių kampų plokščias elementas paruoštas Beličko /BEL-84/. Vėliau šis elementas buvo išvystytas Kulako ir Fialo pastangomis, kad būtų galima įvertinti betono ir armatūrinių strypų irimą /KUL-88/. Todėl tempiamo betono sluoksnių nereikia keisti į tuštumas, ko pasekoje skaičiavimų rezultatai gausi mažiau konservatyvūs.

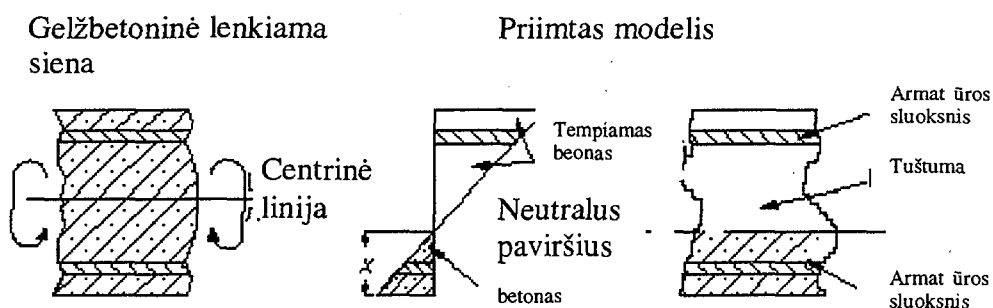
Skaičiavimui kompiuterinėmis programomis ALGOR ir NEPTUNE buvo naudoti tie patys baigtinių elementų modeliai. ALGOR baigtinių elementų modelio konvertavimui į NEPTUNE baigtinių elementų modelį buvo paruošta konvertavimo programa CON\_ALGOR. Skaičiavimų rezultatų, gautų kompiuterinės programos NEPTUNE pagalba, pateikimui naudotas taip pat kompiuterinės programos ALGOR post-procesorius. NEPTUNE skaičiavimo rezultatų failo konvertavimui į ALGOR skaičiavimų rezultatų failą buvo paruošta speciali programa CON\_NEPTUNE.



**19 pav. Atspariojo bloko baigtinių elementų modelis**

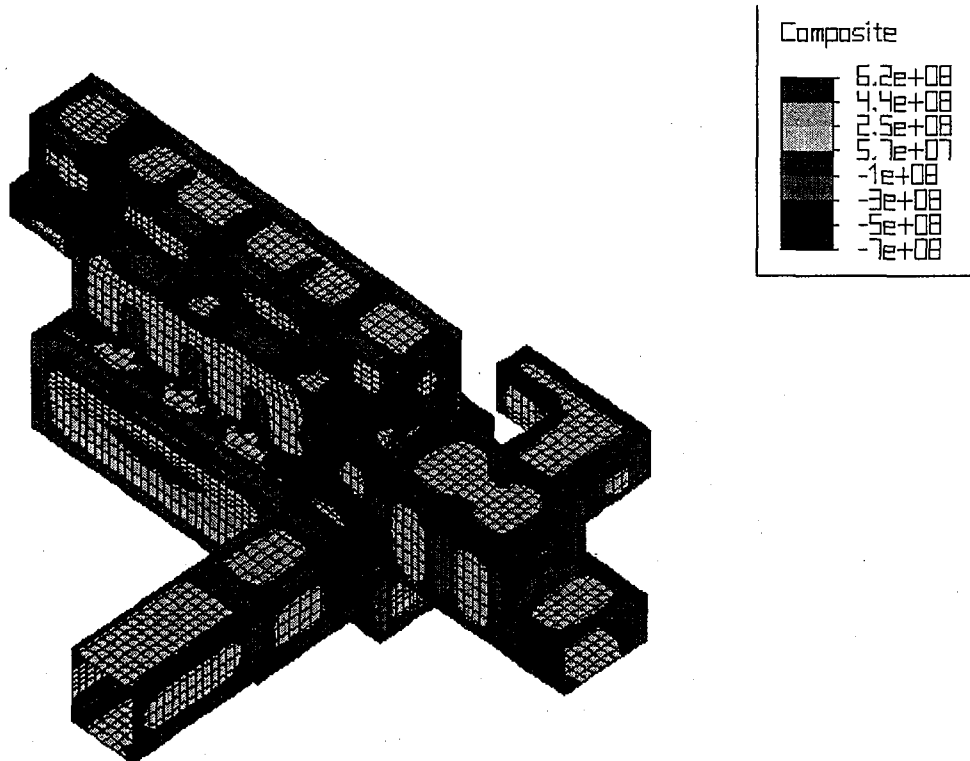


**20 pav. Bokštų baigtinių elementų modelis**



21 pav. Plokščias sluoksniuotas baigtinis elementas

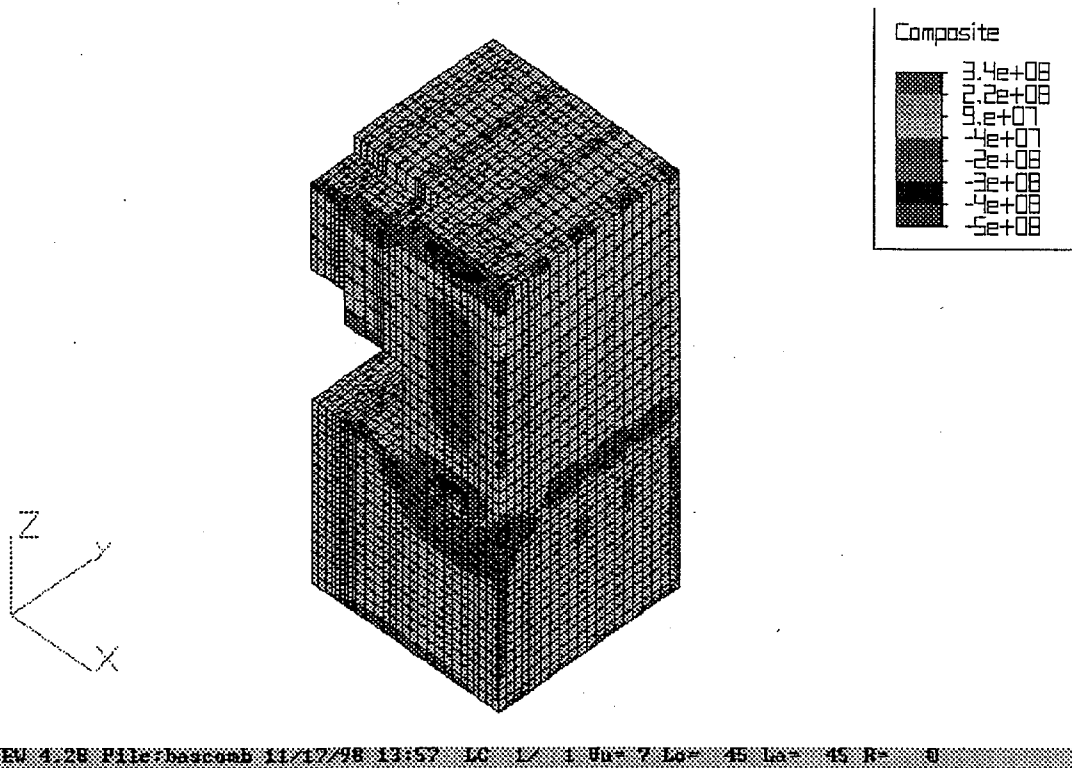
ALS struktūrinė analizė kompiuterinės programos ALGOR pagalba. ALS patalpų struktūrinė analizė atlikta veikiant projektiniam slėgiui, t.y. 0,3 MPa slėgis atspariuose blokuose ir 0,08 MPa slėgis kondensaciniuose bokštuose. Gauti įtempimų būvio skaičiavimo rezultatai atspariame bloke ir kondensaciniame bokšte parodyti 22 pav. ir 23 pav. Iš pateiktų rezultatų (22 pav.) matyti, kad įtempimai (620 MPa) kai kuriose atspariojo bloko sienose viršija armatūrinių strypų takumo ribą (420 MPa). Kadangi ALGOR galima atlikti tikties tiesinę gelžbetoninių konstrukcijų analizę, tai apie šio bloko konstrukcijų vientisumą pagal šią analizę spręsti negalima. Dėl šios priežasties buvo atlikta atspariojo bloko netiesinė analizė panaudojant specializuotą gelžbetoninėms konstrukcijoms kompiuterinę programą NEPTUNE.



SUIEW 4.28 File:pphcomb 11/07/98 15:02 EC 1/ 1 Vu=U7 Lo= -45 Ia= 45 R= 0

22 pav. Maksimalių normalinių įtempimų (Pa) pasiskirstymas atspariojo bloko sienose

Atlikus kondensacinio bokšto struktūrinę analizę nustatyta, kad didžiausi maksimalūs normaliniai įtempimai neviršija 343 MPa (23 pav.), o tai reiškia, kad įtempimai mažesni už armatūrinių strypų takumo ribą. Iš gautų tiesinės analizės rezultatų galima teigti, kad struktūrinė vientisumas kondensacinių bokštų MPA atveju bus nepažeistas.

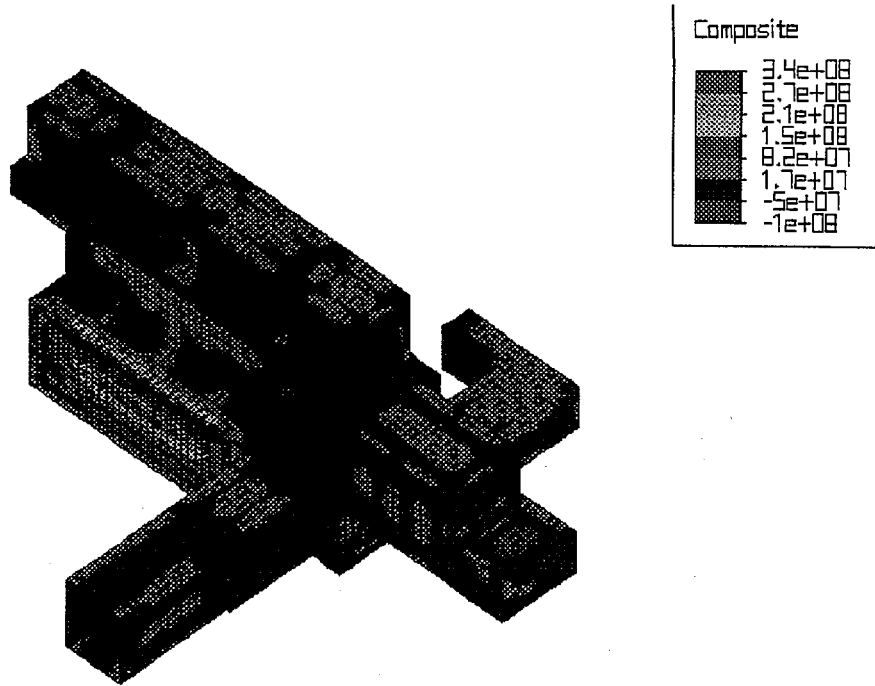


23 pav. Maksimalių normalinių įtempimų (Pa) pasiskirstymas kondensacinio bokšto sienose

*ALS struktūrinė analizė kompiuterinės programos NEPTUNE pagalba.* Kaip buvo minėta, pagal gelžbetoninių konstrukcijų tiesinę analizę (ALGOR) gauta kai kuriose atspariojo bloko patalpų sienose įtempimai viršijantys takumo ribą, todėl apie šių sienų struktūrinį vientisumą spręsti negalima. Dėl minėtos priežasties atlikta minėto bloko netiesinė analizė (NEPTUNE). Netiesinei analizei buvo panaudotos eksperimentiškai nustatytos diagramos "įtempimų priklausomybė nuo deformacijų". Gauti įtempimų būvio atspariajame bloke skaičiavimo rezultatai pateikti 24 pav.

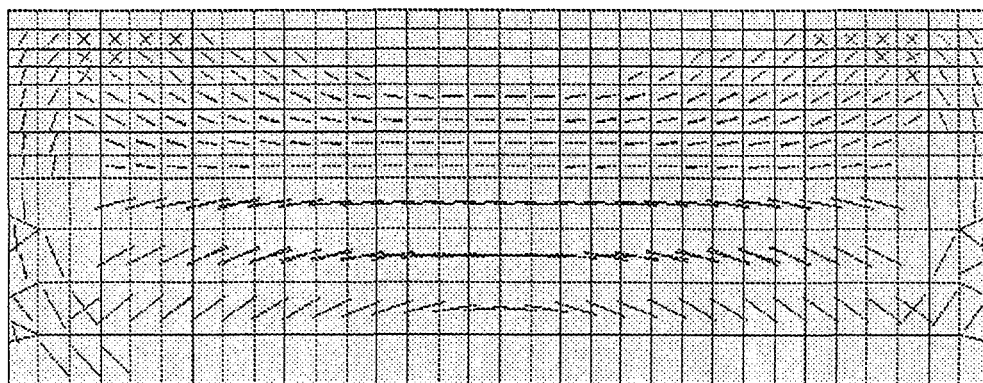
Iš pateiktų rezultatų matyti, didžiausi maksimalūs normaliniai įtempimai yra lygūs 340 MPa, kas yra mažiau ir už takumo ribą. Pagal gautus rezultatus matyti, kad armatūros suirimas MPA atveju neįvyks, o tai reiškia, kad atspariojo bloko struktūrinis vientisumas nebus pažeistas.

Kompiuterinės programos NEPTUNE pagalba galima atlikti plyšių formavimosi ir jų vystymosi analizę betone. Atlikus gautų rezultatų analizę nustatyta, kad labiausiai apkrauta grupinių paskirstymo kolektorių reaktoriaus aušinimo sistemos vamzdynų patalpa (208 patalpa). Visose šios patalpos sienose pradeda formuotis plyšiai betone. Besiformuojantys plyšiai parodyti dviejose šios patalpos sienose. Plyšiai kurie pradeda formuotis pasiekę betono stiprumo ribą tempiant, pavaizduoti brūkšneliais. Brūkšnelio pasvirimo kampas parodo betono skilimo kampą (25 pav.). 26 pav. pavaizduota 11,5 m aukščio perdengime susidarantys plyšiai. Pasiekiamas toks betono būvis, kuriame baigiasi jo įvertinimas tempimui ir prasideda plyšio atsivėrimas (vaizduojami žvaigždutėmis -\*). Tai reiškia kad toks betono elementas praranda atsparumą tempimui, bet nepraranda atsparumo spaudimui.



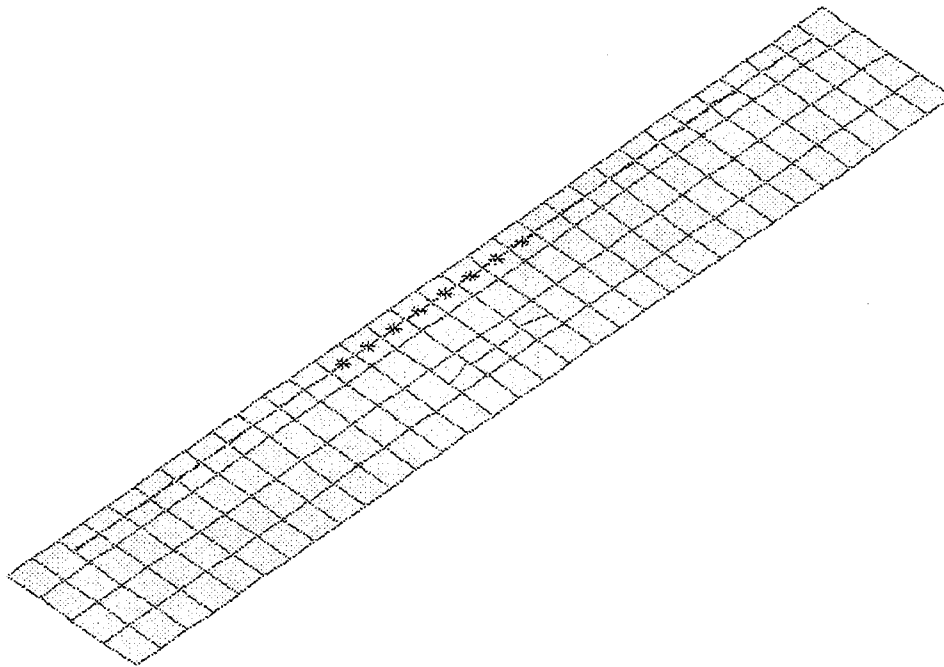
SHEET 4.28 File:ppbcomb 11/18/98 09:04 LG 1/ 1 Ur=07 Lc= 45 La= 45 R= 0

24 pav. Maksimalių normalinių įtempimų (Pa) pasiskirstymas atspariojo bloko sienose



SHEET 4.28 File:ppbcomb 11/18/98 09:04 LG 1/ 1 Ur= 5 Lc= 78 La= 0 R= 0

25 pav. Susiformavusių plyšių vaizdas MPA atveju 208 patalpos sienoje, skiriančioje 208 ir 209 patalpas



SUFEU 4.28 File: pabr08b 11/18/98 09:04 LG 1/ 1 Du= 7 La= 45 La= 45 R= 0

26 pav. Susiformavusių plyšių vaizdas MPA atveju 208 patalpos perdengime 11.5 m aukštyje

#### ***Apšvitinimo dozių nustatymas sanitarinės apsauginės zonos riboje***

Darbe yra apskaičiuota skilimo produktų pernešimas ALS patalpose ir šių produktų išmetimas į aplinką iš ALS patalpų. Atlikta radioaktyvaus apšvitinimo dozių Ignalinos AE sanitarinės-apsauginės zonos riboje įvertinimas MPA atveju. Nustatyta, kad gyventojų apšvitinimo dozės neviršija leidžiamų normų, nustatytų normatyviniuose dokumentuose /SPP-88, SAP-81/.

#### ***ALS inžinerinis įvertinimas***

Šiame darbe atliktas ALS inžinerinis įvertinimas. Pažymėta, kad ALS atitinka daugumą šiai sistemai keliamų funkcinių saugumo reikalavimų ir dideliu tikimybės laipsniu funkcionuos visais nustatytais projektinių avarijų atvejais. Taip pat šiame darbe nustatytas apibrėžtas skaičius neatitikimų funkciniam ir projektiniam reikalavimams /SPP-88, SIB-87/, kurie keliami reaktorių apsauginiams gaubtams, ir pateiktos rekomendacijos ALS saugumo padidinimui.

#### ***Išvada apie Ignalinos AE ALS saugumo lygį***

Atlikta kompleksinė Ignalinos AE ALS saugumo analizė, apimanti eksploatacinio patyrimo analizę, inžinerinį įvertinimą, termohidraulinius ir struktūrinius skaičiavimus. Gauti skaičiavimo rezultatai, atliktos neardančios kontrolės rezultatai ir eksperimentiniai betono ir armatūrinių strypų tyrimai neišryškino žymių trūkumų dėl kurių būtų negalima tolimesnė Ignalinos AE 1 bloko ALS tolimesnė eksploatacija.

ALS statybinių konstrukcijų struktūrinis vientisumas MPA atveju remiantis netiesine analize (NEPTUNE) nebus pažeistas.